

BEST AVAILABLE COPY

7

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-076472

(43)Date of publication of application : 15.03.2002

(51)Int.Cl.

H01L 43/08
G11B 5/39
H01F 10/32

(21)Application number : 2000-264581 (71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

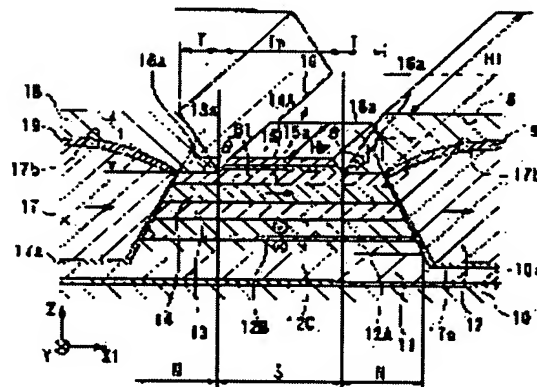
(22)Date of filing : 31.08.2000 (72)Inventor : HASEGAWA NAOYA

(54) SPIN VALVE THIN FILM MAGNETIC ELEMENT AND THIN FILM MAGNETIC HEAD HAVING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the output characteristics of a spin valve thin film magnetic element and avoid side leading.

SOLUTION: The spin valve thin film magnetic element has a laminate 16, a bias layer 17 and an electrode layer 18 having an overlay 18a and a relation shown by $(R_{sl}/H_l)/(R_{sg}/H_g) \leq 0.02$ where H_l is the length extending vertically inward from the surface of the electrode layer 18 facing a magnetic recording medium, R_{sl} is a sheet resistance of this layer 18, H_g is the length extending vertically inward from the surface of the laminate 16 facing the magnetic recording medium, i.e., the element height, and R_{sg} is a sheet resistance of the laminate 16.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 05.04.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The fixed magnetic layer to which it is formed in in contact with an antiferromagnetism layer and said antiferromagnetism layer on a substrate, and the magnetization direction is fixed by the switched connection field with said antiferromagnetism layer, The layered product to which the laminating of the free magnetic layer with which it was formed in said fixed magnetic layer through the nonmagnetic conductive layer, and the magnetization direction was arranged in the magnetization direction of said fixed magnetic layer and the crossing direction was carried out at least, The bias layer for arranging the magnetization direction of said free magnetic layer in the magnetization direction of said fixed magnetic layer, and the crossing direction, It has the overlay section which extends from the both sides of said layered product to the front-face side of said layered product towards a part for a center section. The die length which has the electrode layer of the couple which supplies a detection current to said layered product, and extends perpendicularly toward the direction of the interior in said electrode layer from an opposed face with a magnetic-recording medium Hl, When Hg and the sheet resistance of said layered product are set to Rsg, the die length, i.e., the component height, which extends the sheet resistance of said electrode layer perpendicularly toward the direction of the interior in Rsl and said layered product from an opposed face with a magnetic-recording medium, The spin bulb mold thin film magnetic cell characterized by having the relation shown by the following general formula.

$(Rsl/Hl)/(Rsg/Hg) \leq 0.02$ -- [Claim 2] The spin bulb mold thin film magnetic cell according to claim 1 characterized by having the relation shown by the following general formula in said Hl, said Rsl, said Hg, and relation with said Rsg.

$(Rsl/Hl)/(Rsg/Hg) \leq 0.01$ -- [Claim 3] The fixed magnetic layer to which it is formed in in contact with an antiferromagnetism layer and said antiferromagnetism layer on a substrate, and the magnetization direction is fixed by the switched connection field with said antiferromagnetism layer, The layered product to which the laminating of the free magnetic layer with which it was formed in said fixed magnetic layer through the nonmagnetic conductive layer, and the magnetization direction was arranged in the magnetization direction of said fixed magnetic layer and the crossing direction was carried out at least, The bias layer for arranging the magnetization direction of said free magnetic layer in the magnetization direction of said fixed magnetic layer, and the crossing direction, It has the overlay section which extends from the both sides of said layered product to the front-face side of said layered product towards a part for a center section. The die length which has the electrode layer of the couple which supplies a detection current to said layered product, and extends perpendicularly toward the direction of the interior in said electrode layer from an opposed face with a magnetic-recording medium Hl, the die length, i.e., component height Hg, which extends the sheet resistance of said electrode layer perpendicularly toward the direction of the interior in Rsl and said layered product from an opposed face with a magnetic-recording medium, the range of 0.2-0.5 micrometers, The spin bulb mold thin film magnetic cell characterized by having the relation shown by the following general formula when the sheet resistance Rsg of said layered product is made into the range of 15-25ohms / **.

$(Rsl/Hl) \leq 1\text{ohm/micrometer}$ -- [Claim 4] The spin bulb mold thin film magnetic cell according to claim 3 characterized by having the relation shown by the following general formula in the relation between said Hl and said Rsl when said Hg is made into the range of 0.2-0.5 micrometers and said

Rsg is made into the range of 15-25ohms / **.

(Rsl/Hl) ≤ 0.5 ohm/micrometer -- [Claim 5] The spin bulb mold thin film magnetic cell according to claim 1 to 4 to which the angle on said overlay section front face of said electrode layer and said front face of a layered product to make is characterized by considering as the range of 45 - 70 degrees.

[Claim 6] The spin bulb mold thin film magnetic cell according to claim 1 to 5 characterized by coming to consider as the dual mold structure where the nonmagnetic conductive layer, the fixed magnetic layer, and the antiferromagnetism layer were respectively formed in the thickness direction both sides of said free magnetic layer.

[Claim 7] The spin bulb mold thin film magnetic cell according to claim 1 to 6 characterized by forming the mean free path extension layer for extending the mean free path of conduction electron.

[Claim 8] The spin bulb mold thin film magnetic cell according to claim 1 to 7 characterized by coming to consider as the ferrimagnetism condition that 180 degrees of sense of magnetization differ in the layers by which at least one side of said fixed magnetic layer and said free magnetic layer was divided and divided by two through the nonmagnetic interlayer.

[Claim 9] Said antiferromagnetism layer is a spin bulb mold thin film magnetic cell according to claim 1 to 8 characterized by consisting of an alloy containing at least one sort or two sorts or more of elements of Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Au, Ag, Cr, nickel, Ne, Ar, Xe, and the Kr(s), and Mn.

[Claim 10] The thin film magnetic head characterized by having a spin bulb mold thin film magnetic cell according to claim 1 to 9.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the thin film magnetic head equipped with the spin bulb mold thin film magnetic cell from which electric resistance changes by the relation between the fixed magnetization direction of a fixed magnetic layer (pin (Pinned) magnetic layer), and the magnetization direction of the free (Free) magnetic layer influenced of an external magnetic field, and this spin bulb mold thin film magnetic cell. It uses for the spin bulb mold thin film magnetic cell which has the electrode layer equipped with the overlay section which extends on the front face of said layered product towards a part for a center section especially from the both sides of a layered product, and is related with a suitable technique.

[0002]

[Description of the Prior Art] A spin bulb mold thin film magnetic cell is a kind of the GMR (Giant Magnetoresistive) component which shows giant magneto-resistance, and detects a record field from record media, such as a hard disk. Said spin bulb mold thin film magnetic cell has comparatively simple structure in a GMR component, and, moreover, it has the point of having excelled [change / resistance rate of change is high and / by the weak field / resistance], to the external magnetic field. [0003] Drawing 24 is the sectional view having shown the structure at the time of seeing an example of the conventional spin bulb mold thin film magnetic cell from an opposed face (ABS side) side with a record medium. An antiferromagnetism layer, a fixed magnetic layer, a nonmagnetic conductive layer, and the free magnetic layer of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 24 are the formed so-called bottom product type of single spin bulb mold thin films every much more. In this spin bulb mold thin film, the migration direction of magnetic-recording media, such as a hard disk, is a graphic display Z direction, and the direction of the leak field from a magnetic-recording medium is the direction of Y.

[0004] The conventional spin bulb mold thin film in drawing 24 The layered product 109 which consisted of the bottoms on the substrate by the substrate layer 106, the antiferromagnetism layer 101, the fixed magnetic layer (pin (Pinned) magnetic layer) 102, the nonmagnetic conductive layer 103, the free (Free) magnetic layer 104, and the protective layer 107, It consists of a hard bias layer 105,105 of the couple formed in the both sides of this layered product 109, and an electrode layer 108,108 of the couple formed on this hard bias layer 105,105. Moreover, the electrode layer 108,108 has the overlay sections 108a and 108a which extend on the front face of said layered product 109 towards a part for a center section from the both sides of a layered product 109. The substrate layer 106 consists of Ta (tantalum) etc., and the antiferromagnetism layer 101 is formed from the NiO alloy, the FeMn alloy, the NiMn alloy, etc. Furthermore, said fixed magnetic layer 102 and free magnetic layer 104 are formed from Co, a NiFe alloy, etc., and Cu (copper) film is adapted for the nonmagnetic conductive layer 103, and the hard bias layer 105,105 is formed with a Co-Pt (cobalt platinum) alloy, and the electrode layer 108,108 is formed by Cu etc.

[0005] By forming said fixed magnetic layer 102 in contact with said antiferromagnetism layer 101, a switched connection field (exchange anisotropy field) occurs in the interface of said fixed magnetic layer 102 and antiferromagnetism layer 101, and fixed magnetization of said fixed magnetic layer 102 is being fixed for example, in the direction of graphic display Y. By said hard bias layer 105,105 being magnetized in the graphic display X1 direction, fluctuation magnetization of said free

magnetic layer 104 is arranged in the graphic display X1 direction. This has relation which fluctuation magnetization of said free magnetic layer 104 and fixed magnetization of said fixed magnetic layer 102 intersect.

[0006] In this spin bulb mold thin film magnetic cell, a detection current (sense current) is given to the fixed magnetic layer 102, the nonmagnetic conductive layer 103, and the free (Free) magnetic layer 104 from the electrode layer 108 formed on the hard bias layer 105. The migration direction of magnetic-recording media, such as a hard disk, is a graphic display Z direction, and if the leak field from a magnetic-recording medium is given in the direction of Y, magnetization of the free magnetic layer 104 will change from X1 direction towards the direction of Y. An electric resistance value changes by the relation between fluctuation of the direction of magnetization within this free magnetic layer 104, and the fixed magnetization direction of the fixed magnetic layer 102 (this is called magnetic-reluctance (MR) effectiveness), and the leakage field from a magnetic-recording medium is detected by the electrical-potential-difference change based on this electric resistance value change.

[0007] Moreover, this spin bulb mold thin film has the overlay sections 108a and 108a to which the electrode layer 108, 108 extended to the layered product 109 up side, as shown in drawing 24. Therefore, when the sense current which is a detection current is given to the fixed magnetic layer 102, the nonmagnetic conductive layer 103, and the free (Free) magnetic layer 104 from the electrode layer 108, most sense currents J flow into a layered product 109 from the overlay section 108a head of the electrode layer 108. For this reason, center-section part 104a to which most sense currents J flow in the free magnetic layer 104, and the both-sides parts (electrode overlay section) 104b and 104b into which the sense current J hardly flows occur.

[0008] In this spin bulb mold thin film magnetic cell, the amount of [of the layered product 109 located between overlay section 108a of the electrode layer 108 and 108a] center section contributes to playback of the record field from a magnetic-recording medium substantially, and it has become the sensibility field which demonstrates a magneto-resistive effect. Moreover, the both-sides part of the layered product 109 located in the overlay sectionsa [108] and 108a bottom serves as an insensible field which does not contribute to playback of the record field from a magnetic-recording medium substantially. Thus, a sensibility field and an insensible field are formed by forming the overlay sections 108a and 108a in the electrode layer 108. And the width of face of this sensibility field turns into the width of recording track Tw of a spin bulb mold thin film magnetic cell. For this reason, by forming the overlay sections 108a and 108a in the electrode layer 108, the width of recording track Tw can be narrowed and it becomes possible to correspond to narrow track-ization aiming at the densification of recording density.

[0009] However, for example, when the thickness of the electrode layers 108 and 108 is thin and specific resistance is large, or when the bond resistance in a part for the joint of the electrode layers 108 and 108 and a layered product 109 is large, the sense current J which flows in from overlay section 108a will receive strong resistance, and will become the magnitude which cannot disregard diversion-of-river J' of the sense current J which flows in via the hard bias layer 105. Consequently, the sense current J comes to flow to the field shown in drawing 24 located under the overlay sections 108a and 108a of a layered product 109 with Sign D. If the sense current J flows to the field D which should be this insensible field, the electrical-potential-difference change based on the magnetic-reluctance change to an external magnetic field will be discovered to Field D, and the signal of the recording track of the magnetic-recording medium corresponding to this field D will be reproduced. when narrow track-ization aiming at the densification of the recording density in a magnetic-recording medium was attained especially, side leading of originally carrying out reading appearance of the information on an adjoining magnetic-recording truck in the above-mentioned field D to the magnetic-recording truck which should be carried out reading appearance in a sensibility field occurred, and this may have become a noise to the output signal and may have caused the error.

[0010] Furthermore, the demand of wanting to aim at improvement in much more output characteristics and improvement in sensibility also in a spin bulb mold thin film magnetic cell existed fundamentally.

[0011]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention was made in view of the above-mentioned

situation, and tends to attain the following objects.

** Aim at improvement in the output characteristics in a spin bulb mold thin film.

** Aim at prevention of side leading generating.

** Offer the thin film magnetic head equipped with the above spin bulb mold thin film magnetic cells.

[0012]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned object, this invention adopted the following configurations. On a substrate the spin bulb mold thin film magnetic cell of this invention An antiferromagnetism layer, The fixed magnetic layer to which it is formed in in contact with said antiferromagnetism layer, and the magnetization direction is fixed by the switched connection field with said antiferromagnetism layer, The layered product to which the laminating of the free magnetic layer with which it was formed in said fixed magnetic layer through the nonmagnetic conductive layer, and the magnetization direction was arranged in the magnetization direction of said fixed magnetic layer and the crossing direction was carried out at least, The bias layer for arranging the magnetization direction of said free magnetic layer in the magnetization direction of said fixed magnetic layer, and the crossing direction, It has the overlay section which extends from the both sides of said layered product to the front-face side of said layered product towards a part for a center section. The die length which has the electrode layer of the couple which supplies a detection current to said layered product, and extends perpendicularly toward the direction of the interior in said electrode layer from an opposed face with a magnetic-recording medium H1, When Hg and the sheet resistance of said layered product are set to Rsg, the die length, i.e., the component height, which extends the sheet resistance of said electrode layer perpendicularly toward the direction of the interior in Rsl and said layered product from an opposed face with a magnetic-recording medium, it is characterized by having the relation shown by the following general formula.

$(Rsl/H1)/(Rsg/Hg) \leq 0.02$ [0013] Since such a spin bulb mold thin film magnetic cell has the electrode layer equipped with the overlay section which extends on the front face of said layered product towards a part for a center section from the both sides of said layered product, a part for the center section of a layered product is made into a sensibility field, and since the both-sides part of the layered product located in the overlay section bottom is made into an insensible field, it can make width of face of a sensibility field the width of recording track. Therefore, the width of recording track can be narrowed and it becomes possible to correspond to narrow track-ization aiming at the densification of recording density.

[0014] And the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell The die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior in said electrode layer from an opposed face with a magnetic-recording medium H1, When Hg and the sheet resistance of said layered product are set to Rsg, the die length, i.e., the component height, which extends the sheet resistance of said electrode layer perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl and the magnetic-recording medium of said layered product, Since it has the relation shown by $(Rsl/H1)/(Rsg/Hg) \leq 0.02$, the resistance to the sense current which flows in from the overlay section can be reduced, and the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer can be lessened. Consequently, since the sense current which flows to the insensible field in which it is located under the overlay section of a layered product decreases and electrical-potential-difference change in an insensible field stops being discovered, it becomes possible to prevent side leading of a spin bulb mold thin film magnetic cell. Moreover, since the diversion of river of a sense current can be lessened and a sense current can be centralized on the sensibility field located in a part for the center section of a layered product, it becomes possible for the electrical-potential-difference change in a sensibility field to improve, and to raise the output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell.

[0015] In addition, the sensibility field of a layered product can determine the range by the micro truck profile method. That is, it is defined as the field where 50% or more of signal strength of the maximum signal strength was obtained among the regenerative signals acquired when a spin bulb mold thin film magnetic cell is made to scan on the minute truck with which a certain signal was recorded with a "sensibility field." Moreover, the "insensible fields" of a layered product is the both

sides of said sensibility field, and is defined as a field where signal strength turns into 50% or less of the maximum signal strength.

[0016] Moreover, in the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell, it is desirable to have the relation indicated to be said Hl, said Rsl, and said Hg by the following general formula in relation with said Rsg.

$(Rsl/Hl)/(Rsg/Hg) \leq 0.01$ -- by considering as such a spin bulb mold thin film magnetic cell, the resistance to the sense current which flows in from the overlay section can be reduced further, and the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer can be lessened further. By this, side leading of a spin bulb mold thin film magnetic cell can be prevented much more effectively. Moreover, it becomes possible to improve further and to raise further the output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell of the electrical-potential-difference change in a sensibility field.

[0017] Moreover, the spin bulb mold thin film magnetic cell of this invention The fixed magnetic layer to which it is formed in in contact with an antiferromagnetism layer and said antiferromagnetism layer on a substrate, and the magnetization direction is fixed by the switched connection field with said antiferromagnetism layer, The layered product to which the laminating of the free magnetic layer with which it was formed in said fixed magnetic layer through the nonmagnetic conductive layer, and the magnetization direction was arranged in the magnetization direction of said fixed magnetic layer and the crossing direction was carried out at least, The bias layer for arranging the magnetization direction of said free magnetic layer in the magnetization direction of said fixed magnetic layer, and the crossing direction, It has the overlay section which extends from the both sides of said layered product to the front-face side of said layered product towards a part for a center section. The die length which has the electrode layer of the couple which supplies a detection current to said layered product, and extends perpendicularly toward the direction of the interior in said electrode layer from an opposed face with a magnetic-recording medium Hl, Die-length Hg which extends the sheet resistance of said electrode layer perpendicularly toward the direction of the interior in Rsl and said layered product from an opposed face with a magnetic-recording medium The range of 0.2-0.5 micrometers, When the sheet resistance Rsg of said layered product is made into the range of 15-25ohms / **, it is characterized by having the relation shown by the following general formula.

$(Rsl/Hl) \leq 1 \text{ ohm/micrometer}$ [0018] By considering as such a spin bulb mold thin film magnetic cell, the resistance to the sense current which flows in from the overlay section can be reduced, and the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer can be lessened. Consequently, since the sense current which flows to the insensible field in which it is located under the overlay section of a layered product decreases and electrical-potential-difference change in an insensible field stops being discovered, it becomes possible to prevent side leading of a spin bulb mold thin film magnetic cell. Moreover, since the diversion of river of a sense current can be lessened and a sense current can be centralized on the sensibility field located in a part for the center section of a layered product, it becomes possible for the electrical-potential-difference change in a sensibility field to improve, and to raise the output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell.

[0019] In the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell, when said Hg is made into the range of 0.2-0.5 micrometers and said Rsg is made into the range of 15-25ohms / ** in the relation between said Hl and said Rsl, it is desirable to have the relation shown by the following general formula.

$(Rsl/Hl) \leq$ -- by considering as such [0.5ohms // micrometer] a spin bulb mold thin film magnetic cell, the resistance to the sense current which flows in from the overlay section can be reduced further, and the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer can be lessened further. By this, side leading of a spin bulb mold thin film magnetic cell can be prevented much more effectively. Moreover, it becomes possible to improve further and to raise further the output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell of the electrical-potential-difference change in a sensibility field.

[0020] Furthermore, in the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell, it is desirable to make the angle on said overlay section front face of said electrode layer and said front face of a layered product to make into the range of 45 - 70 degrees. By considering as such a spin bulb mold

thin film magnetic cell, the resistance to the sense current which flows in from the overlay section can be reduced further, and the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer can be lessened further. By this, side leading of a spin bulb mold thin film magnetic cell can be prevented much more effectively. Moreover, it becomes possible to improve further and to raise further the output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell of the electrical-potential-difference change in a sensibility field.

[0021] In the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell, it is good also as a thing which it comes to make into the dual mold structure where the nonmagnetic conductive layer, the fixed magnetic layer, and the antiferromagnetism layer were respectively formed in the thickness direction both sides of said free magnetic layer. By considering as such a spin bulb mold thin film, it shall become what has 2 sets of combination of three layers of a free magnetic layer / nonmagnetic conductive layer / fixed magnetic layer, big $\Delta R/R$ (resistance rate of change) shall be obtained as compared with a single spin bulb mold thin film magnetic cell, and it shall respond to high density record-ization.

[0022] In the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell, it is desirable to form the mean free path extension layer for extending the mean free path of conduction electron. A "mean-free-path extension layer" here means one [at least] thing of a BAKKUDO layer and a specular reflection layer.

[0023] In the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell, as said mean-free-path extension layer, by preparing a BAKKUDO layer, the mean free path (mean free path) in the conduction electron of + spin (upward spin: up spin) contributed to a magneto-resistive effect shall be lengthened, big $\Delta R/R$ (resistance rate of change) shall be obtained according to the so-called spin filter effectiveness (spin filter effect), and it shall respond to high density record-ization so that it may mention later. Moreover, in the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell, as said mean free path extension layer, by preparing a specular reflection layer, resistance rate of change can be improved according to the specular reflection effectiveness (specular effect) so that it may mention later.

[0024] Here, why magnetic-reluctance rate of change becomes high by an above-mentioned BAKKUDO layer and an above-mentioned specular reflection layer is explained briefly. In advance of this explanation, the principle of the giant magneto-resistance of a spin bulb mold thin film magnetic cell is explained briefly. Here, the condition of having arranged the BAKKUDO layer or the specular reflection layer in the location which does not touch the nonmagnetic conductive layer of a free magnetic layer is made into an example, and is explained. When a sense current is impressed to a spin bulb mold thin film magnetic cell, conduction electron moves near [where electric resistance is mainly small] a nonmagnetic conductive layer. Two kinds of conduction electron, rise spin (+ spin and upward spin: up spin) and down spin (- spin and downward spin: down spin), recognizes equivalent existence probable at this conduction electron. The magnetic-reluctance rate of change of a spin bulb mold thin film magnetic cell shows forward correlation to the stroke difference of the mean free path (mean free path) of these two kinds of conduction electron.

[0025] About the conduction electron of down spin, irrespective of the sense of the external magnetic field impressed, it is always scattered about by the interface of a nonmagnetic conductive layer and a free magnetic layer, and the probability which moves to a free magnetic layer is maintained, while it has been low. For this reason, a mean free path is still short compared with the mean free path of the conduction electron of rise spin. On the other hand, about the conduction electron of rise spin, when the magnetization direction of a free magnetic layer changes into the magnetization direction of a fixed magnetic layer, and a parallel condition by the external magnetic field, the probability which moves to a free magnetic layer from a nonmagnetic conductive layer becomes high, and the mean free path is long. And the probability scattered about by the interface of a nonmagnetic conductive layer and a free magnetic layer increases, and the mean free path is short as the magnetization direction of a free magnetic layer changes with external magnetic fields from an parallel condition to the magnetization direction of a fixed magnetic layer. Thus, the mean free path of the conduction electron of rise spin changes with operations of an external magnetic field a lot as compared with the mean free path of the conduction electron of down spin. Moreover, when the stroke difference of the mean free path of the conduction electron of rise spin changes a lot,

resistivity changes and the magnetic-reluctance rate of change ($\frac{dR}{dL}$) of a spin bulb mold thin film magnetic cell becomes large.

[0026] Here, if a BAKKUDO layer is connected to a free magnetic layer, the conduction electron of rise spin which moves in the inside of a free magnetic layer is enabled to move even into a BAKKUDO layer, and the mean free path of the conduction electron of rise spin can be further extended in proportion to the thickness of a BAKKUDO layer. For this reason, it can become possible to make the so-called spin filter effectiveness discover, the stroke difference of the mean free path of conduction electron can become large, and the magnetic-reluctance rate of change ($\frac{dR}{dL}$) of a spin bulb mold thin film magnetic cell can be raised more.

[0027] Moreover, if the laminating of the specular reflection layer is carried out to the location which does not touch said nonmagnetic conductive layer of a free magnetic layer, this specular reflection layer forms a potential barrier in an interface with a free magnetic layer, and it can be made to reflect it, while it had made the condition of that spin save the conduction electron of rise spin which moves in the inside of a free magnetic layer, and it will become possible to carry out specular reflection of the conduction electron of rise spin. Therefore, the mean free path of the conduction electron of rise spin can be extended. For this reason, it can become possible to make the so-called specular reflection effectiveness (specular effect) discover, the stroke difference of the mean free path in the conduction electron depending on spin can become still larger, and the magnetic-reluctance rate of change of a spin bulb mold thin film magnetic cell can be raised more.

[0028] Furthermore, if the laminating of the specular reflection layer is carried out to the opposite hand of the field which touches said free magnetic layer of the BAKKUDO layer connected to the free magnetic layer, while the mean free path of the conduction electron of rise spin will become large according to the spin filter effectiveness With the potential barrier formed in the interface of a specular reflection layer and a BAKKUDO layer The so-called specular reflection effectiveness (specular effect) can be made to be able to discover, and the mean free path of the conduction electron of this rise spin can be further extended by saving and reflecting the condition of the spin of the conduction electron of rise spin. Therefore, the stroke difference of the mean free path in the conduction electron depending on spin can be enlarged further, and it becomes possible to raise further the magnetic-reluctance rate of change of a spin bulb mold thin film magnetic cell.

[0029] Moreover, in the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell, it is good also as a thing which it comes to make into the ferrimagnetism condition that 180 degrees of sense of magnetization differ in the layers by which at least one side of said fixed magnetic layer and said free magnetic layer was divided and divided by two through the nonmagnetic interlayer. When it considers as the spin bulb mold thin film by which the fixed magnetic layer was divided by two through the nonmagnetic middle class at least, among the fixed magnetic layers divided by two, one side bears the role which fixes the fixed magnetic layer of another side in the proper direction, and becomes possible [maintaining the condition of a fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized dramatically]. On the other hand, when it considers as the spin bulb mold thin film by which the free magnetic layer was divided by two through the nonmagnetic middle class at least, a switched connection field occurs among the free magnetic layers divided by two, and it considers as a ferrimagnetism condition, and can be reversed with sufficient sensibility to an external magnetic field.

[0030] Moreover, as for said antiferromagnetism layer, in the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell, it is desirable to consist of an alloy containing at least one sort or two sorts or more of elements of Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Au, Ag, Cr, nickel, Ne, Ar, Xe, and the Kr(s) and Mn. Since a switched connection field serves as an antiferromagnetism layer which is high, is excellent in corrosion resistance, and discovers switched connection field sufficient also at comparatively high temperature by considering as such a spin bulb mold thin film, it becomes possible to stabilize actuation of a spin bulb mold thin film magnetic cell, and it becomes possible to stabilize the actuation under an elevated temperature comparatively especially.

[0031] Said technical problem is solvable with the thin film magnetic head characterized by equipping above either with the spin bulb mold thin film magnetic cell of a publication. Since such the thin film magnetic head is previously equipped with the spin bulb mold thin film magnetic cell of a publication, its playback output of magnetic information is high, and the probability of side leading

generating can use it as the low thin film magnetic head.

[0032]

[Embodiment of the Invention] The thin film magnetic head hereafter equipped with the spin bulb mold thin film magnetic cell concerning this invention, its manufacture approach, and this spin bulb mold thin film magnetic cell is explained in detail based on a drawing.

[1st operation gestalt] drawing 1 is the sectional view having shown the structure at the time of seeing the spin bulb mold thin film magnetic cell of the 1st operation gestalt of this invention from an opposed face side with a record medium. The spin bulb mold thin film magnetic cell of this invention is a kind using giant magneto-resistance of a GMR (giant magnetoresistive) component. This spin bulb mold thin film magnetic cell is prepared in the trailing side edge section of the floatation type slider prepared in the hard disk drive unit etc., and detects record fields, such as a hard disk, so that it may mention later. In addition, the migration direction of magnetic-recording media, such as a hard disk, is a Z direction in drawing, and the direction of a leakage field from a magnetic-recording medium is the direction of Y.

[0033] The spin bulb mold thin film magnetic cell of the 1st operation gestalt of this invention It is the bottom product mold (Bottom type) which the laminating was carried out and was formed from the substrate side in the order of an antiferromagnetism layer, a two-layer fixed magnetic layer, a nonmagnetic conductive layer, and a free magnetic layer. A fixed magnetic layer further The 1st fixed magnetic layer, It is formed in said 1st fixed magnetic layer through a nonmagnetic interlayer, and has the 2nd fixed magnetic layer by which the magnetization direction was arranged with the magnetization direction of said 1st fixed magnetic layer, and anti-parallel. It is a kind of a means to come to make a fixed magnetic layer into a synthetic ferrimagnetism condition, and the single spin bulb mold thin film magnetic cell used as the so-called synthetic ferrimagnetism mold (synthetic-ferrimagnetism type). Moreover, the hard bias layer is prepared as a bias layer.

[0034] In drawing 1, the sign 10 shows the substrate. Substrate layer 10a is prepared on this substrate 10, the antiferromagnetism layer 11 is formed on substrate layer 10a, and the fixed magnetic layers 12A, 12B, and 12C are further formed on the antiferromagnetism layer 11. These fixed magnetic layers 12A, 12B, and 12C are formed through nonmagnetic interlayer 12B on 1st fixed magnetic layer 12A and said 1st fixed magnetic layer 12A, and consist of the 2nd fixed magnetic layer 12C by which the magnetization direction was arranged with the magnetization direction of said 1st fixed magnetic layer 12A, and anti-parallel. On this 2nd fixed magnetic layer 12C, the nonmagnetic conductive layer 13 which consists of Cu (copper) etc. is formed, and the free magnetic layer 14 is further formed on said nonmagnetic conductive layer 13. on said free magnetic layer 14, the BAKKUDO layer B1 prepared as a mean-free-path extension layer forms -- having -- said BAKKUDO layer B1 top -- Ta etc. -- since -- the becoming protective layer 15 is formed and oxidizing-zone 15a which consists of tantalum oxide (Ta-Oxide) is formed in this protective layer 15 upside.

[0035] And as shown in drawing 1, the layered product 16 which has the cross-section configuration of abbreviation trapezoidal shape is constituted by each class from a part of antiferromagnetism layer 11 to oxidizing-zone 15a. It is desirable to consider as the range of 0.2-0.5 micrometers, the die length, i.e., component height Hg, which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium in this layered product 16. Moreover, as for the sheet resistance Rsg of a layered product 16, it is desirable to consider as the range of 15-25ohms / **.

[0036] Moreover, signs 17 and 17 show a hard bias layer, and signs 18 and 18 show the electrode layer. These hard bias layers 17 and 17 are formed through bias substrate layer 17a on the antiferromagnetism layer 11 jutted out over the both-sides location (truck cross direction both sides) of a layered product 16 shown in drawing 1. On this hard bias layer 17 and 17, the electrode layers 18 and 18 are formed through the interlayer 19 who consists of Ta or Cr.

[0037] As shown in drawing 1, the spin bulb mold thin film magnetic cell of the bottom product type (Bottom type) with which the antiferromagnetism layer 11 is located in the bottom can lessen resistance which the specific resistance of the antiferromagnetism layer 11 to the sense current given to a layered product 16 produces according to a large thing, and can lessen the rate of the diversion of river of a sense current. For this reason, side leading can be prevented and it becomes possible to

correspond further by the densification of magnetic recording density. Furthermore, by contacting the BAKKUDO layer B1 which exposed the overlay sections 18a and 18a of the electrode layers 18 and 18, contact resistance can be reduced further and the component of the diversion of river of the sense current which flows into the layered product 16 bottom from the hard bias layer 17 can be further reduced so that it may mention later.

[0038] When it furthermore explains to a detail, as for said substrate layer 10a, in the spin bulb mold thin film magnetic cell of the 1st operation gestalt of this invention, being formed from Ta etc. is desirable. Moreover, as for said antiferromagnetism layer 11, in a part for the center section of a layered product 19, it is desirable to consider as the thickness of about 80-110Å, and to be formed with a PtMn alloy. Compared with a NiMn alloy, a FeMn alloy, etc. which are used as an antiferromagnetism layer from the former, it excels in corrosion resistance, and moreover, a PtMn alloy has high blocking temperature and its switched connection field (exchange anisotropy field) is also large. Moreover, the alloy which replaces with said PtMn alloy and is shown by the formula of X-Mn (however, X shows one sort of elements chosen from among Pd, Ru, Ir, Rh, and Os.), Or X'-Pt-Mn (however, X' shows one sort or two sorts or more of elements chosen from among Pd, Ru, Ir, Rh, Os, Au, Ag, Cr, nickel, Ar, Ne, Xe, and Kr.) It may be formed with the alloy shown by the formula.

[0039] Moreover, in the alloy shown by said PtMn alloy and the formula of said X-Mn, it is desirable for Pt or X to be the range of 37 - 63 atom %. It is the range of 47 - 57 atom % more preferably. In the alloy shown by the formula of X'-Pt-Mn, it is desirable for X'+Pt to be the range of 37 - 63 atom % further again. It is the range of 47 - 57 atom % more preferably. Furthermore, as an alloy shown by said formula of X'-Pt-Mn, it is desirable for X' to be the range of 0.2 - 10 atom %. However, when X' is one or more sorts of Pd, Ru, Ir, Rh, and Os, as for X', it is desirable that it is the range of 0.2 - 40 atom %. As said antiferromagnetism layer 11, the alloy of the above-mentioned proper presentation range can be used, and the antiferromagnetism layer 11 which generates a big switched connection field can be obtained by carrying out annealing treatment of this. Especially, if it is a PtMn alloy, it has a switched connection field exceeding 800 (Oe), and the blocking temperature which loses said switched connection field can obtain 380 degrees C and the outstanding, very high antiferromagnetism layer 11. Here, it is 1(Oe) oersted = 80 A/m.

[0040] As for the 1st and 2nd fixed magnetic layers 12A and 12C, it is desirable to consist of a thin film of a ferromagnetic, for example, for it to be formed with Co, a NiFe alloy, a CoNiFe alloy, a CoFe alloy, a CoNi alloy, etc., and to consider as the thickness of about 10-30Å. 1st fixed magnetic layer 12A consists of Co, and the thickness is set as 13-15Å. Moreover, 2nd fixed magnetic layer 12C consists of Co, and the thickness is set as 20-25Å. Moreover, as for said nonmagnetic interlayer 12B, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu, and it is usually formed in the thickness which is about 8Å.

[0041] By forming 1st fixed magnetic layer 12A in contact with the antiferromagnetism layer 11, and giving annealing in a magnetic field (heat treatment), as a switched connection field (exchange anisotropy field) occurs in the interface of said 1st fixed magnetic layer 12A and antiferromagnetism layer 11, for example, it is shown in drawing 1, magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12A is fixed in the direction of graphic display Y. Magnetization of 2nd fixed magnetic layer 12C which magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12A will counter through nonmagnetic interlayer 12B if fixed in the direction of graphic display Y is fixed to the condition of graphic display Y, i.e., the direction, and hard flow of magnetization of 1st fixed magnetic layer 12A, and anti-parallel.

[0042] It is stabilized and a switched connection field can so maintain magnetization of 1st fixed magnetic layer 12A, and magnetization of 2nd fixed magnetic layer 12C at an anti-parallel condition that it is large. Especially, as an antiferromagnetism layer 11, it is high, and by using the PtMn alloy moreover made to generate a large switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with 1st fixed magnetic layer 12A, also thermally blocking temperature is stabilized and can maintain the magnetization condition of said 1st fixed magnetic layer 12A and 2nd fixed magnetic layer 12C.

[0043] With this operation gestalt, by storing the film parameter of 1st fixed magnetic layer 12A and 2nd fixed magnetic layer 12C within proper limits A switched connection field (Hex) can be enlarged, magnetization with 1st fixed magnetic layer 12A and 2nd fixed magnetic layer 12C can be

maintained at the anti-parallel condition (ferry condition) stabilized also thermally, and it is possible to secure $\Delta R/R$ (resistance rate of change) to the same extent as the former moreover. Furthermore, it becomes possible by controlling the magnitude of the magnetic field under heat treatment, and its direction proper to control the magnetization direction of 1st fixed magnetic layer 12A and 2nd fixed magnetic layer 12C towards desired.

[0044] The nonmagnetic conductive layer 13 consists of Cu (copper) etc., and the thickness is set as 20-25A. As for said free magnetic layer 14, it is desirable to consider as the thickness of about 20-50A, and to usually be formed with the same construction material as 1st fixed magnetic layer 12A and 2nd fixed magnetic layer 12C etc. The BAKKUDO layer B1 can consist of metallic materials, such as Cu, and an ingredient chosen from the group which consists of a nonmagnetic electrical conducting material and consists of Au, Ag, and Cu, for example, the thickness is set as 12-20A. A protective layer 15 consists of Ta and is set to oxidizing-zone 15a to which the front face oxidized. Moreover, this protective layer 15 is formed so that a truck cross direction (it sets to drawing 1 and is X1 direction) ends side may become shorter than layered product 16 top face, and it is made into the condition that the BAKKUDO layer B1 was exposed, in the ends of layered product 16 top face.

[0045] Bias substrate layer 17a is the buffer film and the orientation film, and being formed by Cr etc. is desirable, for example, let it preferably be the thickness of about 35A about 20-50A.

Moreover, an interlayer 19 consists of Ta and let him be about 50A thickness. These bias substrate layer 17a and the middle class 19 can prevent that the magnetic properties of the hard bias layers 17 and 17 deteriorate by functioning as a diffusion barrier and carrying out thermal diffusion between the hard bias layers 17 and 17 and a circumference layer, when put to an elevated temperature at the hardening process (UV cure or postbake) of the insulating resist performed in the manufacture process of the inductive head (write head) of an after process etc.

[0046] As for said hard bias layers 17 and 17, it is desirable to consider as the thickness of about 200-500A, for example, to usually be formed with a Co-Pt alloy, a Co-Cr-Pt alloy, a Co-Cr-Ta (cobalt chrome-tantalum) alloy, etc. Moreover, magnetization of said free magnetic layer 14 is arranged in the graphic display X1 direction by said hard bias layers 17 and 17 being magnetized in the graphic display X1 direction. Thereby, the fluctuation magnetization direction of said free magnetic layer 14 and the fixed magnetization direction of said 2nd fixed magnetic layer 12C serve as relation which crosses at 90 degrees.

[0047] As for said hard bias layers 17 and 17, it is desirable for it to be arranged in the same hierarchy location as said free magnetic layer 14, and to consider as bigger thickness than the thickness of said free magnetic layer 14 in the direction of thickness of said free magnetic layer 14. moreover, the top faces 17b and 17b of said hard bias layers 17 and 17 are arranged in the location which is distant from a substrate 10 from top-face 14A of the free magnetic layer 14 (namely, -- drawing 1 -- an upside), and the underside of said hard bias layers 17 and 17 is arranged rather than the underside of said free magnetic layer 14 in the location by the side of a substrate 10 (namely, -- drawing 1 -- the bottom).

[0048] Moreover, the junction of the top faces 17b and 17b of said hard bias layers 17 and 17, and the side face of said layered product 16 From the upper beds 16a and 16a of the side face of a layered product 16, in the location by the side of a substrate 10 (namely, drawing 1 under) And it is desirable to consider as the location below the best location (the example of drawing 1 both-sides edge of the top faces 17b and 17b of the hard bias layers 17 and 17) of said hard bias layers 17 and 17 in the location estranged from the layered product 16. The flux control in the field which acts on the free magnetic layer 14 from the hard bias layers 17 and 17 by this, That is, it stops being able to happen easily that the effective field which joins the free magnetic layer 14 when the leakage flux from the hard bias layers 17 and 17 is absorbed by the up shielding layer located in the layered product 16 upper part decreases. Since the free magnetic layer 14 becomes that it is [single-domain-] easy to beized, magnetic-domain control of said free magnetic layer 14 can be performed good.

[0049] Moreover, resistance can be reduced by being formed by the monolayer which the electrode layers 18 and 18 become from one sort chosen from Cr, Au, Ta, and W, or more than it, or its multilayer. Here, Cr is chosen as electrode layers 18 and 18, and an electric resistance value can be reduced by being formed by growing epitaxially on the interlayer 19 who consists of Ta.

[0050] On the top face of a layered product 16, the electrode layers 18 and 18 extend on the exposed

BAKKUDO layer B1, form the overlay sections 18a and 18a, and covering formation of these overlay sections 18a and 18a is carried out at a layered product 16, and they are connected to the BAKKUDO layer B1.

[0051] Thus, by making the overlay sections 18a and 18a put on a layered product 16, the part (sensibility field S) which contributes to playback of the record field from a magnetic-recording medium substantially, and the part (insensible field N) which does not contribute to playback of the record field from a magnetic-recording medium substantially are formed, the width of face of the sensibility field S turns into the magnetic width of recording track of a spin bulb mold thin film magnetic cell, and it becomes possible to correspond to narrow track-ization. In addition, the sensibility field S occupied to a layered product 16 and an insensible field N are measured by the micro truck profile method.

[0052] Hereafter, the micro truck profile method is explained based on drawing 23. As shown in drawing 23, the spin bulb mold thin film magnetic cell concerning this invention which has the layered product which demonstrates a magneto-resistive effect, the hard bias layer formed in the both sides, and the electrode layer equipped with the overlay section which extends on the front face of said layered product is formed on a substrate.

[0053] Next, the width method B of the top face of the layered product which an electrode layer covers and has not hung with an optical microscope or an electron microscope is measured. This width method B is defined as the width of recording track Tw measured by optical means.

[0054] And the predetermined signal is recorded as a minute truck on the magnetic-recording medium, a spin bulb mold thin film magnetic cell is made to scan crosswise [truck] on this minute truck, and the relation between the width method A of a layered product and a playback output is measured. Or the magnetic-recording medium side by which the minute truck was formed may be made to scan crosswise [truck] on a spin bulb mold thin film magnetic cell, and the relation between the width method A of a layered product and a playback output may be measured. The measurement result is shown in the drawing 23 bottom.

[0055] According to this measurement result, near the center of a layered product, it turns out that a playback output becomes high and a playback output becomes low near the flank of said layered product. Although a magneto-resistive effect is demonstrated good and it participates in a regenerative function near the center of a layered product from this result, in near [that] the both-sides section, a magneto-resistive effect gets worse, a playback output is low and the regenerative function is falling.

[0056] In this invention, the field formed by the width method B on the top face of a layered product which 50% or more of playback output generates to the maximum playback output is defined as a sensibility field, and it defines the field formed by having the width method C on the top face of a layered product for generating only 50% or less of playback output to the maximum playback output as an insensible field.

[0057] As shown in drawing 23, the sensibility field S is a field which shows a magneto-resistive effect substantially, and the width of face of this sensibility field S serves as a magnetic truck width method. Moreover, on the top face of a layered product 16, the dimension of the truck cross direction (drawing 1 X1 direction) in which the overlay sections 18a and 18a are not formed is the optical truck width method Tw (dimension B). As shown in drawing 23, with this operation gestalt, the optical width of recording track Tw (dimension B) and magnetic width-of-recording-track S are set as the almost same dimension, or magnetic width-of-recording-track S is set as a little larger dimension than the optical width of recording track Tw (dimension B).

[0058] Thereby, the sense current given from the electrode layers 18 and 18 to a layered product 16 can make [many] directly the rate of passing a sense current to a layered product 16, without being hard coming to flow to a layered product 16 through the hard bias layers 17 and 17, and minding these hard bias layers 17 and 17. And by the ability increasing the plane-of-composition product of a layered product 16 and the electrode layers 18 and 18 in this case, the bond resistance which does not contribute to a magneto-resistive effect can be lowered, and the reproducing characteristics of a component can be improved.

[0059] Moreover, the spin bulb mold thin film of the structure shown in drawing 1 The die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the

magnetic-recording medium of the electrode layers 18 and 18 H1, When Hg and the sheet resistance of said layered product are set to Rsg, the die length, i.e., the component height, which extends the sheet resistance of said electrode layers 18 and 18 perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl and the magnetic-recording medium of a layered product 16, it has the relation shown by the following general formula.

When $(Rsl/H1)/(Rsg/Hg) \leq 0.02$ $(Rsl/H1)/(Rsg/Hg)$ exceeds 0.02, since there is a possibility that the effectiveness which enlarges the ratio of the sense current which flows in from the overlay sections 18a and 18a of the electrode layers 18 and 18 may fully be acquired no longer, and side leading may occur, it is not desirable. Moreover, as for said H1, said Rsl, said Hg, and the relation with said Rsg, it is more desirable to have the relation shown by the following general formula.

$(Rsl/H1)/(Rsg/Hg) \leq 0.01$ [0060] Moreover, the spin bulb mold thin film of the structure shown in drawing 1 The die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of the electrode layers 18 and 18 H1, the die length, i.e., component height Hg, which extends the sheet resistance of the electrode layers 18 and 18 perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl and the magnetic-recording medium of a layered product 16, the range of 0.2-0.5 micrometers, When Rsg is made into the range of 15-25ohms / ** for the sheet resistance of a layered product 16, it has the relation shown by the following general formula.

$(Rsl/H1)$ When $\leq 1\text{ohm/micrometer}$ $(Rsl/H1)$ exceeds micrometer in 1ohm /, since there is a possibility that the effectiveness which enlarges the ratio of the sense current which flows in from the overlay sections 18a and 18a of the electrode layers 18 and 18 may fully be acquired no longer, and side leading may occur, it is not desirable. Moreover, when said Hg is made into the range of 0.2-0.5 micrometers and said Rsg is made into the range of 15-25ohms / ** in the relation between said H1 and said Rsl, it is more desirable to have the relation shown by the following general formula.

$(Rsl/H1) \leq 0.5\text{ohm/micrometer}$ [0061] Moreover, as for the angle theta of overlay section 18a of the electrode layers 18 and 18, 18a front face, and layered product 16 front face to make, it is desirable to consider as the range of 45 - 70 degrees. Since there is a possibility of generating side leading since the thickness of the point of the overlay sections 18a and 18a becomes thin, the sheet resistance Rsl of a point becomes large and the resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 18a and 18a becomes large when smaller than 45 degrees, this include angle theta is not desirable. Since a possibility that it may become difficult for the insulator layer used as the up gap about which said include angle theta is formed for the level difference on an electrode layer top face and the top face of a layered product by the top face of a spin bulb mold thin film magnetic cell by becoming steep too much when larger than 70 degrees to cover this level difference on the other hand, and up shielding and a spin bulb mold thin film magnetic cell may short-circuit electrically arises, it is not desirable.

[0062] In the spin bulb mold thin film magnetic cell of the structure shown in drawing 1, a sense current can be given to a layered product 16 from the electrode layers 18 and 18. If a field is given in the direction of graphic display Y shown in drawing 1 from a magnetic-recording medium, magnetization of the free magnetic layer 14 will be changed in the direction of Y from graphic display X1 direction. By the interface of the nonmagnetic conductive layer 13 at this time, and the free magnetic layer 14, and the interface of the nonmagnetic conductive layer 13 and 2nd fixed magnetic layer 12C, when dispersion of the conduction electron for which it depended on spin according to the so-called GMR effectiveness takes place, electric resistance changes and the leak field from a record medium is detected.

[0063] In the spin bulb mold thin film magnetic cell of the structure shown in drawing 1, the mean free path (mean free path) in the electron of + spin (upward spin: up spin) contributed to a magneto-resistive effect shall be lengthened by the BAKKUDO layer B1, big **R/R (resistance rate of change) shall be obtained in a spin bulb mold thin film according to the so-called spin filter effectiveness (spin filter effect), and it shall respond to high density record-ization.

[0064] Hereafter, the spin filter effectiveness (spin filter effect) is explained. Drawing 7 is a ** type explanatory view for explaining the contribution to the spin filter effectiveness by the BAKKUDO layer in a spin bulb mold thin film magnetic cell. Drawing 7 (a) is the sectional view showing the

example of a spin bulb mold thin film magnetic cell without a BAKKUDO layer, and drawing 7 (b) is the sectional view showing the example of the spin bulb mold thin film magnetic cell in this operation gestalt. In drawing 7 (a), a sign 101 thru/ or 104 correspond to the conventional spin bulb mold thin film magnetic cell without the BAKKUDO layer shown in drawing 24, and let it be the so-called synthetic ferri PINDO mold (synthetic-ferri-pinned type) which has 1st fixed magnetic layer 102A, nonmagnetic middle class 102B, and 2nd fixed magnetic layer 102C instead of the fixed magnetic layer 102 in drawing 24.

[0065] The huge magnetic-reluctance GMR effectiveness observed with a magnetic material What [what is depended mainly on electronic "dispersion depending on spin"], i.e., a magnetic material, The mean free path of the conduction electron which has spin (for example, + spin (upward spin: up spin)) parallel to the magnetization direction of the free magnetic layer 14 here (mean free path: λ^+), A difference with the mean free path (λ^-) of conduction electron with parallel spin (for example, - spin (downward spin: down spin)) contrary to the magnetization direction of a magnetic material is used. It sets to drawing 7 and is up spin. A upward arrow head shows the conduction electron which it has, and it is down spin. Downarrow shows the conduction electron which it has.

[0066] If this electron has + spin parallel to the magnetization direction of the free magnetic layer 14 in case an electron tends to pass through the free magnetic layer 14, it can move freely, but when an electron has - spin in this and reverse, it will be scattered about promptly. This is mean free path λ^+ of an electron with + spin. For example, mean free path λ^- of the electron which has - spin to being about 50A - It is about 6A and is because it is extremely as small as about 1/10.

[0067] It is the mean free path λ^- of - spin electron whose thickness of the free magnetic layer 14 is about 6A in this operation gestalt. - Mean free path λ^+ of + spin electron which it is large and is about 50A It is set up small. therefore, in case it is going to pass through the free magnetic layer 14, - spin conduction electron (minority carrier; minority carrier) is effectively blocked by this free magnetic layer 14 (that is, filter out is carried out -- having), and, as for + spin conduction electron (majority carrier; majority carrier), ** moves it transparent to this free magnetic layer 14 intrinsically by it.

[0068] The majority carrier generated in 2nd fixed magnetic layer 12C, a minority carrier, i.e., + spin electron corresponding to the magnetization direction of 2nd fixed magnetic layer 12C, and - spin electron move toward the free magnetic layer 14, and become migration of a charge, i.e., a carrier. When magnetization of the free magnetic layer 14 rotates, these carriers are scattered about after each has differed, that is, since the passage conditions in the free magnetic layer 14 differ, respectively, they will bring about the above-mentioned GMR.

[0069] Although the electron which moves toward 2nd fixed magnetic layer 12C from the free magnetic layer 14 is also contributed to GMR, since it will move in the same direction if the electron which goes to the free magnetic layer 14 from 2nd fixed magnetic layer 12C, and the electron which goes to 2nd fixed magnetic layer 12C from the free magnetic layer 14 are averaged, explanation is omitted. Moreover, since the electron generated in the nonmagnetic conductive layer 13 has the number of + spin electrons, and the equal number of - spin electrons, the sum of a mean free path does not change but this also omits explanation.

[0070] The number of the minority carriers which occur in 2nd fixed magnetic layer 12C, and pass the nonmagnetic conductive layer 13, i.e., - spin electron, is equal to the number of - spin electrons scattered about by the interface of 2nd fixed magnetic layer 12C and the nonmagnetic conductive layer 13. These - spin electrons are scattered about near the interface of the nonmagnetic conductive layer 13 and 2nd fixed magnetic layer 12C, before [far] reaching an interface with the free magnetic layer 14. Therefore, even if the magnetization direction of the free magnetic layer 14 rotates this - spin electron, a mean free path does not change, is still very short compared with the mean free path of + spin electron, and does not influence the change in resistance which contributes to the resistance rate of change causing GMR effectiveness. What is necessary is to consider only the behavior of + spin electron in the GMR effectiveness by this.

[0071] The majority carrier generated in 2nd fixed magnetic layer 12C, i.e., + spin electron, is mean free path λ^+ of this + spin electron. It moves in the inside of the short nonmagnetic conductive layer 13, and the free magnetic layer 14 is reached. When an external magnetic field does not act on

the free magnetic layer 14 and the magnetization direction of the free magnetic layer 14 is not rotating, since this + spin electron has + spin parallel to the magnetization direction of the free magnetic layer 14, a majority carrier can pass this free magnetic layer 14 freely.

[0072] Furthermore, in the BAKKUDO layer B1, as shown in drawing 7 (b), after + spin electron which passed the free magnetic layer 14 moves additional mean free path $\lambda+b$ determined with the ingredient of this BAKKUDO layer B1, they are scattered about. When there is no mean free path of B1 BAKKUDO layer of + spin electron, as shown in drawing 7 (a), it will move in the inside of the free magnetic layer 14, and will be scattered about on the top face, but when the BAKKUDO layer B1 is formed, this means having extended by additional mean-free-path $\lambda+b$, as shown in drawing 7 (b). Therefore, the resistance as a spin bulb mold thin film decreases by applying the electrical conducting material which has comparatively low resistance (namely, long mean free path).

[0073] If the magnetization direction of the free magnetic layer 14 rotates by impressing an external magnetic field, since it will be in the condition that the magnetization direction of this magnetic material differs from the sense of spin, on the other hand, + spin electrons will be scattered about in the free magnetic layer 14, and an effective mean free path decreases rapidly. That is, resistance increases. Therefore, by forming the BAKKUDO layer B1, the big GMR effectiveness of $\Delta R/R$ (resistance rate of change) can be observed, and the playback output characteristics of a spin bulb mold thin film can be improved.

[0074] Here, the direction of fluctuation magnetization of the free magnetic layer 14 which influences the asymmetry of an output is explained based on a drawing. Drawing 8 is the fluctuation magnetization M_f of the free magnetic layer 14. It is a ** type explanatory view explaining a convention of a direction. Fluctuation magnetization M_f of the free magnetic layer 14 It is the following three fields to affect a direction. that is, sense current field H_J by the sense current J Anti-field (dipole) field H_d by fixed magnetization of the fixed magnetic layers 12A, 12B, and 12C Interaction field H_{int} by the interaction between layers of the free magnetic layer 14 and the fixed magnetic layers 12A, 12B, and 12C it is . Fluctuation magnetization M_f of the free magnetic layer 14 from these fields If there is little contribution, asymmetry will decrease. That is, it is H_J+ in the condition that an external magnetic field is not impressed in order to decrease asymmetry. H_d+ Being set to $H_{int}=0$ is desirable.

[0075] It sets here to the spin bulb mold thin film magnetic cell of this operation gestalt. It is formed in 1st fixed magnetic layer 12A and 1st fixed magnetic layer 12A through nonmagnetic interlayer 12B. The means which forms in a layered product 16 2nd fixed magnetic layer 12C by which the magnetization direction was arranged with the magnetization direction of 1st fixed magnetic layer 12A, and anti-parallel, and it comes to make into a synthetic ferrimagnetism condition in a fixed magnetic layer, By having considered as the so-called synthetic ferrimagnetism (synthetic-ferri-pinned type) As shown in drawing 8 , it is said anti-field (dipole) field H_d . It can deny mutually by the magnetostatic joint field MP_1 of 1st fixed magnetic layer 12A, and the magnetostatic joint field MP_2 of 2nd fixed magnetic layer 12C, and can cancel. the anti-field (dipole) field which affects it in the fluctuation magnetization direction of the free magnetic layer 14 by this -- about -- anti-field (dipole) field H_d can be referred to as $H_d=0$ and according to fixed magnetization of a fixed magnetic layer from -- fluctuation magnetization M_f of the free magnetic layer 14 Contribution can be decreased sharply.

[0076] Next, sense current field H_J by the sense current J which influences asymmetry Reduction is explained. sense current field H_J according [drawing 9] to the sense current J by the BAKKUDO layer B1 from -- fluctuation magnetization M_f of the free magnetic layer 14 It is drawing explaining reduction in contribution. Drawing 9 (a) is a cross-sectional view vertical to the medium opposed face (ABS side) which shows the example of a spin bulb mold thin film magnetic cell without a BAKKUDO layer, and drawing 9 (b) and drawing 9 (c) are cross-sectional views vertical to the medium opposed face (ABS side) which shows the example of the spin bulb mold thin film magnetic cell in this operation gestalt.

[0077] In drawing 9 (a), a sign 101 thru/or 104 correspond to the conventional spin bulb mold thin film magnetic cell without the BAKKUDO layer shown in drawing 24 , and let it be the so-called synthetic ferrimagnetism (synthetic-ferri-pinned type) which has 1st fixed magnetic layer 102A,

nonmagnetic middle class 102B, and 2nd fixed magnetic layer 102C instead of the fixed magnetic layer 102 in drawing 24.

[0078] As shown in drawing 9 (a), when the sense current J is given to the antiferromagnetism layer 101, fixed magnetic layer 102 of ** 1st A, nonmagnetic interlayer 102B, 2nd fixed magnetic layer 102C, the nonmagnetic conductive layer 103, and the free magnetic layer 104 in a bottom product type spin bulb mold thin film without a BAKKUDO layer, there is an inclination for the location where the sense current J mainly flows to become near the core of these layered products. However, since the big antiferromagnetism layer 101 of thickness exists in the lower part of these layers, the sense current J has the inclination to flow near the bottom of the nonmagnetic conductive layer 103 so that it may be shown in under surface (a) than the free magnetic layer 104 which I want to flow, i.e., drawing 9. For this reason, sense current field HJ according to the sense current J in the location of the free magnetic layer 14 A very large contribution will be given to the right sense in drawing 9 (a), and it is going to make asymmetry small, and is the fluctuation magnetization Mf of the free magnetic layer 104. Difficulty was produced to amend a direction towards desired.

[0079] On the other hand, in this operation gestalt, as shown in drawing 9 (b), the location based on [of this layered product 16] currents is moving to the free magnetic layer 14 side by having formed the BAKKUDO layer B1 in the topmost part of a layered product 16. For this reason, the core of the sense current J will flow free magnetic layer 14 location mostly. therefore, sense current field HJ over the free magnetic layer 14 from -- the big contribution to the longitudinal direction in drawing 9 can be lost. That is, a sense current field can be mostly set to $HJ = 0$.

[0080] In other words, in the nonmagnetic conductive layer 13 and the BAKKUDO layer B1, the sense current J shown in drawing 9 (b) is equivalent to what was shunted toward the diversion of river J1 of this direction, and the diversion of river J2, respectively, as shown in drawing 9 (c). In this case, in the free magnetic layer 14, the right sense field which a diversion of river J1 makes, and the leftward field which a diversion of river J2 makes are canceled. By this, the sense current field in the free magnetic layer 14 can be mostly set to $HJ = 0$.

[0081] Therefore, fluctuation magnetization Mf of the free magnetic layer 14 shown in drawing 8 mentioned above Sense current field HJ according to two fields J with a big contribution, i.e., a sense current, among three fields which affect a direction Anti-field (dipole) field Hd by fixed magnetization of the fixed magnetic layers 12A, 12B, and 12C It is mostly cancellable. Interaction field Hint by the interaction between layers of the free magnetic layer 14 with a most contribution small in order to decrease asymmetry by this in the condition that an external magnetic field is not impressed, and the fixed magnetic layers 12A, 12B, and 12C What is necessary will be just to take into consideration.

[0082] Therefore, the condition J, i.e., a sense current, that the spin bulb mold thin film is not operating is not given, but it is the sense current field HJ. It is in the condition which has not been generated and is the fluctuation magnetization Mf of the free magnetic layer 14. What is necessary is just to arrange by magnetization of the hard bias layers 17 and 17 so that it may become a direction near X1 in drawing 1. That is, fluctuation magnetization Mf of the free magnetic layer 14 specified by the hard bias layers 17 and 17 when the sense current J is not given Fixed magnetization Mp of fixed magnetic layer 12C Need to foresee contribution of the sense current J and it is not necessary to set it up so that these may intersect perpendicularly that what is necessary is just to intersect perpendicularly only after the sense current J flows. For this reason, the sense current J is not given but it is the sense current field HJ. When having not generated, it is the fluctuation magnetization Mf of the free magnetic layer 14. Fixed magnetization Mp of 2nd fixed magnetic layer 12C Making an opposite hand into the other side is lost.

[0083] Here, this spin bulb mold thin film has the overlay sections 18a and 18a to which the electrode layers 18 and 18 formed on the hard bias layers 17 and 17 extended to the layered product 16 up side, as shown in drawing 1. For this reason, when the detection current (sense current) J is given to the 2nd fixed magnetic layer 12, the nonmagnetic conductive layer 13, and the free (Free) magnetic layer 14 from the electrode layers 18 and 18, as for this sense current J, that most will flow into a layered product 16 from these overlay sections 18a and 18a. For this reason, a part for the center section to which the sense current J mainly flows to the free magnetic layer 14, and the both-sides part into which a sense current hardly flows occur.

[0084] The free magnetic layer 14 whole is covered and it is the sense current field HJ. Since it is very small, in a part for the center section to which the sense current J is flowing, and the both-sides part into which a sense current hardly flows, producing a big difference in contribution of each field is lost, and a gap of the magnetization direction is not produced in the free magnetic layer 14 whole.

[0085] Therefore, it can prevent that the ununiformity of magnetization occurs by making a magnetic domain wall in the free magnetic layer 14, and barring single domain-ization. For this reason, in a spin bulb mold thin film, bulk HAZEN noise generating can be prevented and improvement in the stability (stability) in signal processing from a magnetic-recording medium can be aimed at.

[0086] Hereafter, the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell in this operation gestalt is explained based on a drawing. Drawing 2 thru/or drawing 6 are the sectional views for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell in this operation gestalt.

[0087] In this operation gestalt the manufacture approach of a spin bulb mold thin film When an approximate account is carried out, on a substrate 10 Substrate layer 10a and the antiferromagnetism layer 11, 1st fixed magnetic layer 12A, nonmagnetic interlayer 12B, and 2nd fixed magnetic layer 12C, The nonmagnetic conductive layer 13, the free magnetic layer 14, the BAKKUDO layer B1, and a protective layer 15, The process which forms the lift-off resist 72 in which it cut deeply on the process which forms cascade screen 16' which has oxidizing-zone 15a, and the underside which counters on said cascade screen 16' at said cascade screen 16', and Sections 72a and 72a were formed, The process which leaves said a part of antiferromagnetism layer 11, removes the part which is not covered with said lift-off resist 72, and forms the layered product 16 of abbreviation trapezoidal shape, The process which forms the hard bias layers 17 and 17 in the both sides of said layered product 16 so that it may be arranged in the same hierarchy location as said free magnetic layer 14, It has the process which forms the electrode layers 18 and 18 on said layered product 16 corresponding to said hard bias layer 17 and 17 top and the slitting sections 72a and 72a of said lift-off resist 72.

[0088] When it furthermore explains to a detail, as shown in drawing 2 , on a substrate 10 first Substrate layer 10a, 1st fixed magnetic layer 12A to which it is formed in in contact with the antiferromagnetism layer 11 and this antiferromagnetism layer 11, and the magnetization direction is fixed by the switched connection field with said antiferromagnetism layer 11, Nonmagnetic interlayer 12B and 2nd fixed magnetic layer 12C by which the magnetization direction was arranged with the magnetization direction of said 1st fixed magnetic layer 12A, and anti-parallel, The free magnetic layer 14 with which it should be formed in said 2nd fixed magnetic layer 12C through the nonmagnetic conductive layer 13, and the magnetization direction should be arranged in the magnetization direction of said 2nd fixed magnetic layer 12C, and the crossing direction, Cascade screen 16' which has the BAKKUDO layer B1 which consists of a nonmagnetic electrical conducting material, a protective layer 15, and oxidizing-zone 15a is formed. At this time, it is desirable to consider as the range of 0.2-0.5 micrometers, the die length, i.e., component height Hg, which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of layered product 16'.

[0089] Next, the width method of the sensibility field S and an insensible field N is determined by the micro truck profile method using another thin film magnetic head [finishing / creation / already]. And the lift-off resist 72 is formed on cascade screen 16', taking into consideration the width method of the insensible field N known beforehand.

[0090] As shown in drawing 2 , plane view of this lift-off resist 72 is carried out by the width method R1 of the truck cross direction (X1 in drawing direction), it is prepared so that cascade screen 16' may be covered, and the slitting sections 72a and 72a are formed in that underside. These slitting sections 72a and 72a are formed on an insensible field N among cascade screen 16'. Moreover, the sensibility field S top has the width method R2 by said lift-off resist 72, and it is made to be in the condition of having been covered thoroughly, among cascade screen 16'. By this width method R2, the dimension of the width of recording track in the top face of the layered product 16 formed in a next stroke is specified.

[0091] Next, as shown in drawing 3 , by dry etching, such as ion milling, it leaves the both sides of cascade screen 16', a part of antiferromagnetism layer 11 bottom is deleted for them, and a layered

product 16 is formed. Then, as shown in drawing 4, the bias substrate layers 17a and 17a, the hard bias layers 17 and 17, and an interlayer 19 are formed on both sides of said layered product 16. As for the electrode layer 18 performed in this operation gestalt at membrane formation of the hard bias layers 17 and 17, and a next process, and the spatter used in the case of membrane formation of 18, it is desirable that it is the spatter which combined the ion beam spatter method, the long slow spatter method, the collimation spatter method, or them.

[0092] As shown in drawing 4, with this operation gestalt, the substrate 10 with which the layered product 16 was formed is put on an abbreviation perpendicular direction to the beam emitted from the target 74 formed by the presentation of the hard bias layers 17 and 17. Thereby, the hard bias layers 17 and 17 can be formed from an abbreviation perpendicular direction to said layered product 16 by using for example, the ion beam spatter method. Therefore, in slitting section 72a of the lift-off resist 72 formed on the layered product 16, enter the hard bias layers 17 and 17 and they are not formed. in addition -- a lift off -- a resist -- 72 -- a top -- bias -- a substrate -- a layer -- 17 -- a -- hard -- bias -- a layer -- 17 -- an interlayer -- 19 -- being the same -- a presentation -- a layer -- 17 -- a -- ' - 17 -- ' -- 19 -- ' -- respectively -- forming -- having .

[0093] Next, to said layered product 16, the ion milling by Ar, a reverse spatter, etc. are performed, and said a part of layered product 16 front face [/ in slitting section 72a] is removed from across like [drawing 5]. Thereby, a part of oxidizing-zone 15a, protective layer 15, and BAKKUDO layer B1 are removed, and the electrode layer 18 forms the part in contact with the direct BAKKUDO layer B1.

[0094] Furthermore, as shown in drawing 6, the electrode layer 18 is formed from across on the hard bias layer 17 to said layered product 16. Under the present circumstances, said electrode layer 18 is formed even in slitting section 72a of the lift-off resist 72 in which it was prepared on the layered product 16. Here, said electrode layer 18 is formed on the hard bias layer 17 by the ion beam spatter method, leaning aslant the target 76 formed by the presentation of the electrode layer 18 to the substrate 10 with which the layered product 16 was formed, and moving or rotating said target 76 on said substrate 10.

[0095] At this time, it trespasses not only upon the hard bias ** 17 top but upon the interior of slitting section 72a of the resist layer 72 formed on the layered product 16, membranes are formed, and the electrode layer 18 by which a spatter is carried out from across forms overlay section 18a. That is, overlay section 18a of the electrode layer 18 formed in said slitting section 72a is formed by the wrap location in the insensible field of a layered product 16. As for the angle theta of overlay section 18a of the electrode layer 18, 18a front face, and layered product 16 front face to make, at this time, it is desirable to consider as the range of 45 - 70 degrees.

[0096] In addition, although a substrate 10 is fixed and the target 76 is aslant moved or rotated to this substrate 10 in drawing 6, a target 76 may be fixed, and a substrate 10 side may be moved or rotated in the direction of slant to said target 76. As for the include angle of the front face of a target 76, and a substrate 10 to make, i.e., the include angle which determines the direction of radiation of sputtered particles, at this time, it is desirable that 50 it is [20 -] the range. By adjusting the include angle of the front face of the target 76 for spatters and a substrate 10 to make can prescribe this include angle. moreover -- drawing 6 -- being shown -- as -- a lift off -- a resist -- 72 -- a top -- a layer -- 19 -- ' -- **** -- an electrode -- a layer -- 18 -- being the same -- a presentation -- a layer -- 18 -- ' -- forming - - having .

[0097] And at the following process, a lift off removes the lift-off resist 72 shown in drawing 6, using resist exfoliation liquid. By this, the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 1 is completed.

[0098] With this operation gestalt, it can be set as 0.03 micrometers - 0.10 micrometers by cutting the truck cross direction linear dimension of overlay section 18a in the electrode layer 18 deeply by the width method R1 and the width method R2 of the truck cross direction of the lift-off resist 72, and setting up the truck cross direction dimension of section 72a.

[0099] Here, when the truck cross direction dimension of this overlay section 72a is set up smaller than 0.03 micrometers, since sufficient effectiveness in which overlay section 18a was formed cannot be acquired, it is not desirable. Moreover, when the truck cross direction dimension of overlay section 18a is set as 0.10 micrometers or more, it is necessary to make it counter in the

condition of having made the include angle of targets 74 and 76 and a substrate 10 inclining greatly, and to carry out spatter membrane formation of the electrode layer 18. In this case, it becomes easy to generate inconvenience, like the angle theta of the overlay section 18a of the electrode layer 18, 18a front face, and layered product 16 front face it becomes impossible to form the electrode layer 18 which has sufficient thickness even for the interior of slitting section 72a to make becomes smaller than 45 degrees. If this inconvenience occurs, since it will become impossible to disregard the sense current which carries out a diversion of river to the layered product 16 (GMR film) located in the overlay section 18a bottom of the electrode layer 18 and nonconformities, such as side leading, will be produced, it is not desirable.

[0100] According to the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell in this operation gestalt, the photograph lift-off resist 72 can be formed in the configuration of the request of a layered product 16, the hard bias layer 17, and the electrode layer 18 only by only forming once. or [and / not making the include angle of targets 74 and 76 and a substrate 10 incline] -- or by the spatter which chose making it counter in the condition of having made it inclining, since the hard bias layer 17 and the electrode layer 18 are formed in a desired configuration, the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell can be easily obtained in the condition with few routing counters.

[0101] Since such a spin bulb mold thin film magnetic cell has the electrode layer 18 equipped with the overlay sections 18a and 18a which extend on the front face of a layered product 16 towards a part for a center section from the both sides of a layered product 16, a part for the center section of a layered product 16 is made into a sensibility field, and since the both-sides part of the layered product 16 located in the overlay sectionsa [18] and 18a bottom is made into an insensible field, it can make width of face of a sensibility field the width of recording track. Therefore, the width of recording track can be narrowed and it becomes possible to correspond to narrow track-ization aiming at the densification of recording density.

[0102] And this spin bulb mold thin film magnetic cell The die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of the electrode layers 18 and 18 Hl, When Hg and the sheet resistance of said layered product are set to Rsg, the die length, i.e., the component height, which extends the sheet resistance of the electrode layers 18 and 18 perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl and the magnetic-recording medium of a layered product 16, Since it has the relation shown by $(Rsl/Hl)/(Rsg/Hg) \leq 0.02$ The resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 18a and 18a can be reduced, and the diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 17 can be lessened. Consequently, since the sense current which flows to the insensible field N in which it is located under the overlay sections 18a and 18a of a layered product decreases and electrical-potential-difference change in an insensible field N stops being discovered, it becomes possible to prevent side leading of a spin bulb mold thin film magnetic cell. Moreover, since the diversion of river of a sense current can be lessened and a sense current can be centralized on the sensibility field S located in a part for the center section of a layered product 16, it becomes possible for the electrical-potential-difference change in the sensibility field S to improve, and to raise the output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell.

[0103] Furthermore, since this spin bulb mold thin film magnetic cell has the relation indicated to be said Hl, said Rsl, and said Hg by $(Rsl/Hl)/(Rsg/Hg) \leq 0.01$ in relation with said Rsg, it can reduce further the resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 18a and 18a, and can lessen further the diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 17.

[0104] This spin bulb mold thin film magnetic cell the die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of the electrode layers 18 and 18 Moreover, Hl, the die length, i.e., component height Hg, which extends the sheet resistance of the electrode layers 18 and 18 perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl and the magnetic-recording medium of a layered product 16, the range of 0.2-0.5 micrometers, Since it has the relation shown by resistance $(Rsl/Hl) \leq 10\text{ohm/micrometer}$ per unit length of 18Xelectrode layer 1 direction when Rsg is made into the range of 15-25ohms / ** for the sheet resistance of a layered product 16 The resistance to the sense

current which flows in from the overlay sections 18a and 18a can be reduced, and the diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 17 can be lessened.

[0105] Furthermore, this spin bulb mold thin film magnetic cell Since it has the relation shown by $\leq (R_{sl}/H_l) 0.5\text{ohm/micrometer}$ in the relation between said H_l and said R_{sl} when said H_g is made into the range of 0.2-0.5 micrometers and said R_{sg} is made into the range of 15-25ohms / ** The resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 18a and 18a can be reduced further, and the diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 17 can be lessened further.

[0106] Furthermore, in this spin bulb mold thin film magnetic cell, since the angle of said overlay section 18a of an electrode layer, 18a front face, and layered product 16 front face to make is made into the range of 45 - 70 degrees, it can reduce further the resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 18a and 18a, and can lessen further the diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 17.

[0107] As mentioned above, this spin bulb mold thin film magnetic cell can become what has the few diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 17, and side leading of a spin bulb mold thin film magnetic cell can be prevented much more effectively. Moreover, it becomes possible to improve further and to raise further the output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell of the sensibility and electrical-potential-difference change to the minute external magnetic field in the sensibility field S.

[0108] Hereafter, the 2nd operation gestalt of this invention is explained based on a drawing.

[2nd operation gestalt] drawing 10 is the sectional view having shown the structure at the time of seeing the spin bulb mold thin film magnetic cell of the 2nd operation gestalt of this invention from an opposed face side with a record medium. As shown in drawing 10, also in the spin bulb mold thin film of the 2nd operation gestalt of this invention, it considers as the synthetic ferry PINDO mold (synthetic-ferri-pinned spin-valves) of a bottom product mold (Bottomtype) like the spin bulb mold thin film magnetic cell of the 1st operation gestalt. The places where the spin bulb mold thin film of the 2nd operation gestalt shown in drawing 10 differs from the 1st operation gestalt shown in drawing 1 are a point about the free magnetic layer used as the synthetic ferry free mold (synthetic-ferri-free spin-valves), and the point of having changed into the BAKKUDO layer and having prepared the specular reflection layer as a mean-free-path extension layer.

[0109] In drawing 10, the sign 40 shows the substrate. Substrate layer 40a is prepared on this substrate 40, the antiferromagnetism layer 41 is formed on substrate layer 40a, and the fixed magnetic layers 42A, 42B, and 42C are further formed on the antiferromagnetism layer 41. These fixed magnetic layers 42A, 42B, and 42C are formed through nonmagnetic interlayer 42B on 1st fixed magnetic layer 42A and said 1st fixed magnetic layer 42A, and consist of the 2nd fixed magnetic layer 42C by which the magnetization direction was arranged with the magnetization direction of said 1st fixed magnetic layer 42A, and anti-parallel.

[0110] On this 2nd fixed magnetic layer 42C, the nonmagnetic conductive layer 43 which consists of Cu (copper) etc. is formed, and the free magnetic layer 44 is further formed on said nonmagnetic conductive layer 43. The 2nd and 1st free magnetic layers 44A and 44C are divided by two through nonmagnetic interlayer 44B, and this free magnetic layer 44 is formed. The 1st and 2nd free magnetic layers 44C and 44A are made into the ferrimagnetism condition that 180 degrees of sense of magnetization differ. The specular reflection layer S1 is formed on said 1st free magnetic layer 44C, the protective layer 45 formed by Ta etc. is formed on said specular reflection layer S1, and this protective layer upside is set to oxidizing-zone 45a which consists of tantalum oxide (Ta-Oxide). As shown in drawing 10, the layered product 46 which has the cross-section configuration of abbreviation trapezoidal shape is constituted by each class from a part of antiferromagnetism layer 41 to oxidizing-zone 45a.

[0111] Moreover, in signs 47 and 47, a hard bias layer, and 48 and 48 show an electrode layer, and 49 shows the interlayer. These hard bias layers 47 and 47 are formed through bias substrate layer 47a on the antiferromagnetism layer 41 jutted out over the both-sides location of a layered product 46. On this hard bias layer 47 and 47, the electrode layers 48 and 48 are formed through the interlayer 49 who consists of Ta.

[0112] Substrate layer 40a, the antiferromagnetism layer 41, fixed magnetic layer 42of ** 1st A,

nonmagnetic interlayer 42B, 2nd fixed magnetic layer 42C, the nonmagnetic conductive layer 43, a protective layer 45, a layered product 46, the hard bias layer 47, the electrode layer 48, overlay section 48a, and an interlayer 49 here, respectively Substrate layer 10a in the 1st operation gestalt shown in drawing 1 thru/or drawing 6 , The antiferromagnetism layer 11, fixed magnetic layer 12of ** 1st A, nonmagnetic interlayer 12B, 2nd fixed magnetic layer 12C, the nonmagnetic conductive layer 13, the free magnetic layer 14, a protective layer 15, a layered product 16, the hard bias layer 17, the electrode layer 18, overlay section 18a, and an interlayer 19 are supported.

[0113] the -- the [2 free magnetic layer 44A and] -- 1 free magnetic layer 44C consists of the same construction material as the free magnetic layer 14 of the 1st operation gestalt etc., and is concretely formed with a NiFe alloy, a CoFe alloy, or a CoNiFe alloy. Moreover, as for nonmagnetic interlayer 44B, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu.

[0114] Moreover, 1st free magnetic layer 44C and 2nd free magnetic layer 44A can also be formed by two-layer, respectively. the -- the [1 free magnetic layer 44C and] -- it is good for the side which touches nonmagnetic interlayer 44B of 2 free magnetic layer 44A, and the specular reflection layer S1 also as that in which Co layer is formed, respectively. Thereby, while being able to strengthen anti-parallel association between the 1st and 2nd free magnetic layers, diffusion with nonmagnetic interlayer 44B and the specular reflection layer S1 can be prevented. Moreover, resistance rate of change can be enlarged by forming Co layer in the side which touches the nonmagnetic conductive layer 43.

[0115] In the free magnetic layer 44, the magnetization direction of 2nd free magnetic layer 44A is fixed in the graphic display X1 direction by the magnetic flux of the hard bias layer 47, and the magnetization direction of 1st free magnetic layer 44C is being fixed to graphic display X1 direction and the opposite direction. the -- 1 free magnetic layer 44C -- a switched connection field (RKKY interaction) -- the -- it is magnetically combined with 2 free magnetic layer 44A, and is in the condition that the opposite direction of graphic display X1 direction was magnetized. In response to the effect of an external magnetic field, the revolution of magnetization of 2nd free magnetic layer 44A and 1st free magnetic layer 44B is enabled, maintaining a ferry condition.

[0116] the [moreover,] -- the [2 free magnetic layer 44A and] -- the thickness of 1 free magnetic layer 44C differs, and is formed -- having -- the -- the thickness of 2 free magnetic layer 44A -- the -- it considers as size rather than the thickness of 1 free magnetic layer 44C. For this reason, as for the magnetic moment expressed with the product of the magnitude of magnetization, and the thickness of a layer, the direction of 2nd free magnetic layer 44A is large. Therefore, it is in the condition that magnetization was arranged in the direction of the synthetic moment of each magnetic moment of 2nd free magnetic layer 44A and 1st free magnetic layer 44C, i.e., the graphic display X1 direction, as the whole free magnetic layer. For this reason, rather than the case of the free magnetic layer of a monolayer, thickness of 2nd free magnetic layer 44A which contributes to GMR can be thickened, degradation of the output characteristics by thickness becoming thin can be prevented, and the synthetic magnetic moment of the whole free magnetic layer can be made small. Therefore, it can improve [improving the magnetization direction revolution reactivity over the external magnetic field impressed, and increasing the resistance rate of change in a low magnetic field, i.e., the sensibility to a magnetic field, and].

[0117] Moreover, in this operation gestalt, the specular reflection layer S1 is formed on said 2nd free magnetic layer 44C as a mean free path extension layer. If it can be set as the range of 5-500A and the thickness of this specular reflection layer S1 is set as a value thinner than 5A, since the effectiveness of specular reflection will not be acquired enough, the thickness of this specular reflection layer S1 is not desirable. Moreover, if the thickness of this specular reflection layer S1 is set as a value thicker than 500A, since shielding spacing which is a playback gap becomes large too much and the resolution of a head falls, it is not desirable.

[0118] By setting up, thus, the specular reflection layer S1 A potential barrier is formed in near the interface of the free magnetic layer 44 and the specular reflection layer S1. The conduction electron of rise spin which moves the free magnetic layer 44 can be reflected saving the condition of spin in near the interface of the free magnetic layer 44 and the specular reflection layer S1. The so-called specular reflection effectiveness is shown so that the mean free path of the conduction electron of

rise spin may be extended further and may be mentioned later.

[0119] In order to reflect conduction electron here, with the condition of spin saved, as for forming [44] a potential barrier by the interface of the free magnetic layer 44 and the specular reflection layer S1, i.e., a free magnetic layer, it is effective that the specular reflection layer S1 is an insulator electrically to being a good conductor.

[0120] As an insulating material which fulfills such conditions, α -Fe₂O₃, NiO and CoO, Co-Fe-O, Co-Fe-nickel-O, aluminum₂O₃, aluminum-Q-O (more than a kind as which Q is chosen from B, Si, N, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel here), Oxide films, such as R-O (one or more sorts as which R is chosen from Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, and W here), aluminum-N, aluminum-Q-N (more than a kind as which Q is chosen from B, Si, O, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, and nickel here), Nitrides, such as R-N (one or more sorts as which R is chosen from Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, and W here), etc. can be mentioned, and such an insulating material can constitute the specular reflection layer S1.

[0121] Moreover, in this operation gestalt, the mean free path (mean free path) in the electron of + spin (upward spin: up spin) contributed to a magneto-resistive effect by the specular reflection layer S1 shall be lengthened, big $\Delta R/R$ (resistance rate of change) shall be obtained in a spin bulb mold thin film magnetic cell according to the so-called specular reflection effectiveness (specular reflection effect), and it shall respond to high density record-ization.

[0122] Hereafter, the specular reflection effectiveness (specular reflection effect) is explained.

Drawing 11 is a $\Delta R/R$ type explanatory view for explaining the contribution to the specular reflection effectiveness by the specular reflection layer in a spin bulb mold thin film magnetic cell. Drawing 11 (a) is the sectional view showing the example of a spin bulb mold thin film magnetic cell without a specular reflection layer, and drawing 11 (b) is the sectional view showing the example of the spin bulb mold thin film magnetic cell in this operation gestalt. What is necessary is to consider only the behavior of the conduction electron of + spin (rise spin) specified by the fixed magnetization direction of 2nd fixed magnetic layer 42C in the GMR effectiveness, as mentioned above in explanation of the spin filter effectiveness.

[0123] In the condition that an external magnetic field is not impressed, as shown in drawing 11 (a) and (b), even the free magnetic layer 44 is reached from the nonmagnetic conductive layer 43. And it moves in the free magnetic layer 44 interior (passing 2nd free magnetic layer 44C and nonmagnetic interlayer 44B and 1st free magnetic layer 44A in order in this operation gestalt), and reaches near the interface of the free magnetic layer 44 and the specular reflection layer S1. As shown in drawing 11 (a), when there is no specular reflection layer, + spin electron will move in the inside of the free magnetic layer 44, and will be scattered about on the top face. For this reason, a mean free path is λ_+ shown in drawing 11 (a). It has become. On the other hand, since the potential barrier is formed near the interface of the free magnetic layer 44 and the specular reflection layer S1 when there is a specular reflection layer S1 as shown in drawing 11 (b), + spin electron carries out specular reflection (mirror plane dispersion) near the interface of the free magnetic layer 44 and the specular reflection layer S1.

[0124] Usually, when conduction electron is scattered about, the spin states (energy, quantum state, etc.) which the electron has change. However, when mirror plane dispersion is carried out, this + spin electron will have the high probability reflected while spin states, such as energy and a quantum state, had been saved, and it will move again in the inside of the free magnetic layer 44. That is, without a spin state changing depending on specular reflection, conduction electron will move in the inside of the free magnetic layer 44, as not scattered about. As this shows + spin electron to drawing 11 (b), only the part which carried out specular reflection, and reflective mean free path $\lambda_+ + S$ mean that the mean free path was prolonged.

[0125] Thus, when + spin electron formed the specular reflection layer S1, a mean free path will be prolonged and a mean free path is substantially prolonged by only reflective mean free path $\lambda_+ + S$. Therefore, by forming the specular reflection layer S1, it will have comparatively low resistance (namely, long mean free path), and the resistance as a spin bulb mold thin film magnetic cell decreases.

[0126] Since the magnetization direction of this magnetic material differs from the sense of spin on the other hand when the magnetization direction of the free magnetic layer 44 is rotated by

impressing an external magnetic field, + Spin electrons are scattered about in the free magnetic layer 44, i.e., according to the magnetization direction of the free magnetic layer 44, the probability to have a mean free path with + spin electron equivalent to - spin electron (conduction electron of down spin) will increase, and an effective mean free path decreases rapidly. That is, resistance increases rapidly. Thus, by the existence of the external magnetic field impressed, the resistance as a spin bulb mold thin film magnetic cell can change, and the GMR effectiveness can be observed.

[0127] Thus, since the spin bulb mold thin film magnetic cell of this operation gestalt possesses the specular reflection layer S1, can make the specular reflection effectiveness able to discover and can extend substantially the mean free path of the conduction electron of rise spin, a mean free path difference with the conduction electron of down spin becomes large, and can improve substantially the magnetic-reluctance rate of change of a spin bulb mold thin film magnetic cell. Moreover, although some conduction electron of rise spin will be scattered about by nonmagnetic interlayer 44B and 1st free magnetic layer 44C, validity can also be made to discover the specular reflection effectiveness more with this operation gestalt by making a free magnetic layer into the same monolayer structure as the 1st operation gestalt.

[0128] This spin bulb mold thin film magnetic cell in addition, on the antiferromagnetism layer 41 1st fixed magnetic layer 42A, non-magnetic layer 42B, 2nd fixed magnetic layer 42C, the nonmagnetic conductive layer 43, 2nd free magnetic layer 44A, It is manufactured like the spin bulb mold thin film magnetic cell of the 1st operation gestalt except the laminating of nonmagnetic interlayer 44B, 1st free magnetic layer 44C, the specular reflection layer S1, and the protective layer 45 being carried out one by one, and a layered product 46 being formed.

[0129] According to the spin bulb mold thin film magnetic cell of this operation gestalt, in addition to the same effectiveness as the spin bulb mold thin film magnetic cell in the 1st operation gestalt shown in drawing 1, the following effectiveness is acquired. That is, since it considers as the synthetic ferry free mold (synthetic-ferri-free spin-valves), while magnetization of a free magnetic layer rotates with sufficient sensibility in a low magnetic field, it becomes possible to acquire big resistance rate of change ($\Delta R/R$). Moreover, nonmagnetic interlayer 44B and 1st free magnetic layer 44C are the sense current field [in / since the center position where the sense current J flows is moved to a free magnetic layer side like the case where the BAKKUDO layer B1 explained based on drawing 9 in the 1st operation gestalt is formed / a free magnetic layer] HJ. The effectiveness to weaken can be acquired.

[0130] Moreover, since specular reflection of the conduction electron of rise spin is carried out near the interface of the free magnetic layer 44 and the specular reflection layer S1, it can extend the average free process of the conduction electron of rise spin. For this reason, it becomes possible to make the so-called specular reflection effectiveness discover, the stroke difference of the mean free path in the conduction electron depending on spin becomes large, and magnetic-reluctance rate of change can be made high. Therefore, improvement in the sensibility of the external magnetic field by the synthetic ferry free layer (free magnetic layer 44) and improvement in the magnetic-reluctance rate of change by the specular reflection effectiveness of the specular reflection layer S1 can be demonstrated simultaneously.

[0131] Hereafter, the 3rd operation gestalt of this invention is explained based on a drawing.

[3rd operation gestalt] drawing 12 is the sectional view having shown the structure at the time of seeing the spin bulb mold thin film of the 3rd operation gestalt of this invention from an opposed face side with a record medium. As shown in drawing 12, the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 of the 3rd operation gestalt of this invention is the so-called dual spin bulb mold thin film magnetic cell by which the laminating of a nonmagnetic conductive layer, a fixed magnetic layer, and every one layer of the antiferromagnetism layers was carried out to the thickness direction both sides the core [a free magnetic layer]. Since 2 sets of combination of three layers of a free magnetic layer / nonmagnetic conductive layer / fixed magnetic layer exists, as compared with the single spin bulb thin film magnetic cell whose combination of three layers of a free magnetic layer / nonmagnetic conductive layer / fixed magnetic layer is 1 set, a dual spin bulb mold thin film magnetic cell can expect big resistance rate of change, and can respond to high density record. Moreover, as for this spin bulb mold thin film magnetic cell, the hard bias layer is prepared as a bias layer.

[0132] This spin bulb mold thin film magnetic cell 1 on a substrate 30 The 2nd nonmagnetic

conductive layer (nonmagnetic conductive layer with a narrow-width part) 8 and the 2nd fixed magnetic layer (narrow-width fixed magnetic layer) 9 which consist of the 1st nonmagnetic conductive layer 6 and the free magnetic layer 7 which consist of the substrate layer 3 which consists of Ta etc., the 1st antiferromagnetism layer 4, the 1st fixed magnetic layer 5, Cu, etc., Cu, etc., the 2nd antiferromagnetism layer. The layered product 38 in which the laminating of the protective layer 36 which consists of 35, Ta, etc. was carried out one by one, and it was formed, (Narrow-width antiferromagnetism layer) The hard bias layers 32 and 32 of a couple which consist of a CoPt alloy which is formed in the both sides of this layered product 38, and arranges magnetization of the free magnetic layer 7, The lead layers (electrode layer) 34 and 34 of a couple which consist of Cu, Au, Ta, Cr, W, etc. which are formed on this bias layer 32 and 32, and give a detection current to a layered product 38 are constituted as a subject.

[0133] And it is desirable to consider as the range of 0.2-0.5 micrometers, the die length, i.e., component height Hg, which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium in the layered product 38 shown in drawing 12. Moreover, as for the sheet resistance Rsg of a layered product 16, it is desirable to consider as the range of 15-25ohms / **.

[0134] The laminating of 1st diffusion prevention layer 7a which consists of Co etc., and the 2nd diffusion prevention layer 7c set to ferromagnetic freedom layer 7b which consists of a NiFe alloy from Co etc. is carried out, and the free magnetic layer 7 is constituted. The 1st and 2nd diffusion prevention layers 7a and 7c prevent counter diffusion with the adjoining 1st and 2nd nonmagnetic conductive layers 6 and 8. The thickness of the range of 0.3-1.0nm and ferromagnetic free layer 7b has [the thickness of the 1st and 2nd diffusion prevention layers 7a and 7c] the desirable range of 1-3nm. The magnetization direction of this free magnetic layer 7 is arranged in the graphic display X1 direction by the bias field of the hard bias layers 32 and 32. By carrying out such and single-domainizing the free magnetic layer 7, the Barkhausen noise of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 can be reduced.

[0135] The laminating of 1st strong magnetic pinned layer 5a, 1st nonmagnetic interlayer 5b, and the 2nd strong magnetic pinned layer 5c is carried out, and the 1st fixed magnetic layer 5 is constituted. Let thickness of 2nd strong magnetic pinned layer 5c be size from the thickness of 1st strong magnetic pinned layer 5a. The magnetization direction of 1st strong magnetic pinned layer 5a is being fixed in the direction of graphic display Y by the switched connection field with the 1st antiferromagnetism layer 4. Moreover, 2nd strong magnetic pinned layer 5c is combined with 1st strong magnetic pinned layer 5a in antiferromagnetism, and the magnetization direction is being fixed to the opposite direction of the direction of graphic display Y.

[0136] Thus, although the magnetic moment of each layer has the relation negated mutually since the magnetization direction of the 1st and 2nd strong magnetic pinned layer 5a and 5c is mutually considered as anti-parallel Since 2nd strong magnetic pinned layer 5c is formed more thickly than 1st strong magnetic pinned layer 5a, magnetization (magnetic moment) of 2nd strong magnetic pinned layer 5c remains slightly, and, thereby, the magnetization direction of the net of the 1st fixed magnetic layer 5 whole is fixed to the opposite direction of the direction of graphic display Y. In addition, it is better than the thickness of 1st strong magnetic pinned layer 5a also as smallness in the thickness of 2nd strong magnetic pinned layer 5c.

[0137] The laminating of 3rd strong magnetic pinned layer 9a, 2nd nonmagnetic interlayer 9b, and the 4th strong magnetic pinned layer 9c is carried out, and the 2nd fixed magnetic layer 9 is constituted. Let thickness of 3rd strong magnetic pinned layer 9a be size from the thickness of 4th strong magnetic pinned layer 9c. The magnetization direction of 4th strong magnetic pinned layer 9c is being fixed in the direction of graphic display Y by the switched connection field with the 2nd antiferromagnetism layer 35. Moreover, 3rd strong magnetic pinned layer 9a is combined with 4th strong magnetic pinned layer 9c in antiferromagnetism, and the magnetization direction is being fixed to the opposite direction of the direction of graphic display Y.

[0138] Thus, although each magnetic moment of the 3rd and 4th strong magnetic pinned layer 9a and 9c as well as the case of the 1st fixed magnetic layer 5 has the relation negated mutually, since 3rd strong magnetic pinned layer 9a is formed more thickly than 4th strong magnetic pinned layer 9c, magnetization (magnetic moment) of 3rd strong magnetic pinned layer 9a remains slightly, and

the magnetization direction of the net of the 2nd fixed magnetic layer 9 whole is fixed to the opposite direction of the direction of graphic display Y. In addition, it is better than the thickness of 4th strong magnetic pinned layer 9c also as smallness in the thickness of 3rd strong magnetic pinned layer 9a. [0139] Thus, the 1st - the 4th strong magnetic pinned layer 5a, 5c, 9a, and 9c join together respectively in antiferromagnetism, and magnetization of the 2nd and 3rd strong magnetic pinned layer 5c and 9a remains, respectively, and the 1st and 2nd fixed magnetic layers 5 and 9 turn into a layer which shows an artificial ferrimagnetism condition (synthetic ferri pinned; synthesizer FIKKUFERIPIN). Moreover, it becomes the relation which the magnetization direction of the free magnetic layer 7 and the magnetization direction of the 1st and 2nd fixed magnetic layers 5 and 9 intersect.

[0140] Moreover, as for the 1st - the 4th strong magnetic pinned layer 5a, 5c, 9a, and 9c, it is desirable for it to be formed with a NiFe alloy, Co, a CoNiFe alloy, a CoFe alloy, a CoNi alloy, etc., and to be formed especially from Co. Moreover, as for the 1st - the 4th strong magnetic pinned layer 5a, 5c, 9a, and 9c, being formed with the same ingredient is desirable. Moreover, as for the 1st and 2nd nonmagnetic interlayers 5b and 9b, it is desirable to consist of one sort or these alloys of Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and the Cu(s), and being formed especially of Ru is desirable. The thickness of the 1st and 4th strong magnetic pinned layer 5a and 9c has the desirable range of 1-2nm, and the thickness of the 2nd and 3rd strong magnetic pinned layer 5c and 9a has the desirable range of 2-3nm. Moreover, the 1st and 2nd nonmagnetic interlayers' 5b and 9b thickness has the desirable range of 0.7-0.9nm.

[0141] In addition, although the 1st and 2nd fixed magnetic layers 5 and 9 are constituted by two ferromagnetic layers (the 1st - the 4th strong magnetic pinned layer 5a, 5c, 9a, and 9c), respectively, they may not be restricted to this but may be constituted by two or more ferromagnetic layers. In this case, while a nonmagnetic interlayer is inserted between the ferromagnetic layers of these, respectively, it is desirable that each magnetization direction of adjoining ferromagnetic layers is considered as anti-parallel, and the whole is made into a ferrimagnetism condition.

[0142] Thus, since the 1st and 2nd fixed magnetic layers 5 and 9 are the so-called layers of an artificial ferrimagnetism condition (synthetic ferripinned; synthesizer FIKKUFERIPIN), the magnetization direction of the 1st and 2nd fixed magnetic layers 5 and 9 can be fixed firmly, and the 1st and 2nd fixed magnetic layers 5 and 9 can be stabilized.

[0143] While making small magnetic association with the free magnetic layer 7 and the 1st and 2nd fixed magnetic layers 5 and 9, a sense current is the layer which mainly flows, as for the 1st and 2nd nonmagnetic conductive layers 6 and 8, it is desirable to be formed from the non-magnetic material which has the conductivity represented by Cu, Cr, Au, Ag, etc., and being formed especially from Cu is desirable. As for the thickness of the 1st and 2nd nonmagnetic conductive layers 6 and 8, it is desirable to consider as the range of 2-2.5nm, respectively.

[0144] As for the 1st and 2nd antiferromagnetism layers 4 and 35, being formed with the PtMn alloy is desirable. Compared with a NiMn alloy, a FeMn alloy, etc. which are used as an antiferromagnetism layer from the former, it excels in corrosion resistance, and moreover, a PtMn alloy has high blocking temperature and its switched connection field is also large. Moreover, the 1st and 2nd antiferromagnetism layers 4 and 35 are a X-Mn alloy and an X'-Pt-Mn alloy (however, it sets to said empirical formula). X shows one sort chosen from Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, and Os, and X' may be formed from either which shows one sort chosen from Pd, Cr, Ru, nickel, Ir, Rh, Os, Au, Ag, Ne, Ar, Xe, and Kr, or two sorts or more.

[0145] In the alloy shown by said PtMn alloy and the formula of said X-Mn, it is desirable for Pt or X to be the range of 37 - 63 atom %. It is the range of 44 - 57 atom % more preferably. In the alloy shown by the formula of X'-Pt-Mn, it is desirable for X'+Pt to be the range of 37 - 63 atom % further again. It is the range of 44 - 57 atom % more preferably. As for the thickness of the 1st and 2nd antiferromagnetism layers 4 and 35, it is desirable to consider as the range of 8-11nm, respectively.

[0146] The alloy of the proper presentation range described above as the 1st and 2nd antiferromagnetism layers 4 and 35 is used, by heat-treating this among a magnetic field, the 1st and 2nd antiferromagnetism layers 4 and 35 which generate a big switched connection field can be obtained, and the magnetization direction of the 1st and 2nd fixed magnetic layers 5 and 9 can be firmly fixed by this switched connection field. Especially, if it is a PtMn alloy, it has a switched connection field exceeding 6.4×10^4 A/m, and the blocking temperature which loses a switched

connection field can obtain 653K (380 degrees C) and the very high 1st and 2nd antiferromagnetism layers 4 and 35.

[0147] Moreover, the 1st antiferromagnetism layer 4 is projected and formed in the graphic display X1 direction both sides rather than the 1st fixed magnetic layer 5 or the free magnetic layer 7. And the laminating of the bias layers 32 and 32 and the lead layers 34 and 34 is carried out one by one on lobe 4a of this 1st antiferromagnetism layer 4, and 4a. And the laminating of the bias substrate layers 31 and 31 which consist of Ta or Cr between the lobes 4a and 4a of the 1st antiferromagnetism layer 4 and the bias layers 32 and 32 is carried out. For example, if the hard bias layers 32 and 32 are formed on the bias substrate layer 31 which consists of Cr which is non-magnetic metal and is body-centered cubic structure (bcc structure), and 31, the coercive force and the remanence ratio of the hard bias layers 32 and 32 can become large, and can increase a bias field required for single-domain-izing of the free magnetic layer 7.

[0148] Moreover, between the hard bias layers 32 and 32 and the lead layers 34 and 34, the laminating of the interlayers 33 and 33 who consist of Ta or Cr is carried out. When Cr is used as lead layers 34 and 34, by forming the middle class 33 and 33 of Ta, it can function as a diffusion barrier to thermal processes, such as resist hardening of an after process, and degradation of the magnetic properties of the bias layers 32 and 32 can be prevented. Moreover, when using Ta as lead layers 34 and 34, there is effectiveness which make the crystal of Ta deposited on Cr easier to make it into the body-centered cubic structure of low resistance by forming the interlayers 33 and 33 of Cr.

[0149] Moreover, the notch of a couple is formed in the side which was located in the graphic display X1 direction both sides of a layered product 38, and is separated from a substrate 30, and let this at it be the lead connections 37 and 37 of a couple. The lead connections 37 and 37 are formed in the graphic display X1 direction both sides of the 2nd fixed magnetic layer 9 and the 2nd antiferromagnetism layer 35, and the X1 direction both sides of a part of 2nd nonmagnetic conductive layer 8. As for the 2nd antiferromagnetism layer 35 and the 2nd fixed magnetic layer 9, width of face of the graphic display X1 direction (truck cross direction) is made more nearly narrow-width than the width of face of the free magnetic layer 7. Moreover, width of face of the part by the side of the 2nd fixed magnetic layer 9 is made narrow-width among the 2nd nonmagnetic conductive layers 8 more nearly similarly than the width of face of the free magnetic layer 7. Moreover, it is supposed that the part by the side of the free magnetic layer 7 of the 2nd nonmagnetic conductive layer 8 is almost equivalent to the width of face of the free magnetic layer 7, and it has the lobes 8a and 8a which projected in the graphic display X1 direction.

[0150] The overlay sections 34a and 34a of the lead layers 34 and 34 are connected to these lead connections 37 and 37. The lead layers 34 and 34 extended hard bias layer 32 and 32 top towards the center of a layered product 38 from the X1 direction both sides of a layered product 38, and were put on the graphic display X1 direction ends of a layered product 38, and the overlay sections 34a and 34a have connected them to the lead connections 37 and 37. Moreover, the overlay sections 34a and 34a open spacing of Tw mutually in graphic display X1 direction, and are arranged in the lead connections 37 and 37. This spacing Tw serves as the optical width of recording track Tw of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1.

[0151] Therefore, in the lead connections 37 and 37, the lobes 8a and 8a of the 2nd nonmagnetic conductive layer 8 have extended in the graphic display X1 direction, and, for this reason, the overlay sections 34a and 34a have joined to the lobes 8a and 8a of the 2nd nonmagnetic conductive layer 8 directly through the 2nd antiferromagnetism layer 35. Moreover, the overlay sections 34a and 34a are estranged by Lobes 8a and 8a from the free magnetic layer 7.

[0152] The width of face M of the graphic display X1 direction of each lead connection 37 (truck cross direction) has the desirable range of 0.03-0.5 micrometers. If width of face M is this range, the plane-of-composition product of the lead layer 34 and layered product 38 in the lead connection 37 can be enlarged, the bond resistance which does not contribute to a magneto-resistive effect can be reduced, a sense current can be efficiently passed to a layered product 38, and improvement in reproducing characteristics can be aimed at.

[0153] The lead connections 37 and 37 are used as a notch, and since it connects in the form where the lead layers 34 and 34 are inserted in this notch, the level difference of a layered product 38 and

the lead layers 34 and 34 can be made small. Thereby, gap width of face of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 can be made small. Moreover, when the laminating of the up insulating layer is carried out to the upper part of this spin bulb mold thin film magnetic cell 1, there is no possibility that a pinhole etc. may be generated in an up insulating layer, and the insulation of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 can be raised.

[0154] The hard bias layers 32 and 32 of a couple which consist of a CoPt (cobalt platinum) alloy are formed in the graphic display X1 direction both sides of a layered product 38, i.e., the width-of-recording-track Tw direction both sides. The hard bias layers 32 and 32 are located in the same hierarchy location as the free magnetic layer 7, and adjoin the free magnetic layer 7. Moreover, the top faces 32a and 32a of the hard bias layers 32 and 32 are joined to the layered product 38 rather than the lead connections 37 and 37 in the location by the side of a substrate 30. Moreover, interlayers 33 and 33 are formed between the hard bias layers 32 and 32 and the lead layers 34 and 34. Interlayers 33 and 33 are in contact with Lobes 8a and 8a from the graphic display X1 direction both sides of the 2nd nonmagnetic conductive layer 8. Therefore, only the lead layers 34 and 34 are connected to the lead connections 37 and 37.

[0155] Moreover, the spin bulb mold thin film 1 of the structure shown in drawing 1 the die length, i.e., the component height, which extends the sheet resistance of H12 and the lead layers 34 and 34 perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl2 and the magnetic-recording medium of a layered product 38 in the die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of the lead layers 34 and 34. When Hg2 and the sheet resistance of said layered product are set to Rsg2, it has the relation shown by the following general formula.

$(Rsl2/H12) / (Rsg2/Hg2) \leq 0.02$ -- when $0.02 (Rsl2/H12) / (Rsg2/Hg2)$ exceeds 0.02, since there is a possibility that the effectiveness which enlarges the ratio of the sense current which flows in from the overlay sections 34a and 34a of the lead layers 34 and 34 may fully be acquired no longer, and side leading may occur, it is not desirable. Moreover, as for said H12, said Rsl2, said Hg2, and the relation with said Rsg2, it is more desirable to have the relation shown by the following general formula.

$(Rsl2/H12) / (Rsg2/Hg2) \leq 0.01$ [0156] Moreover, the spin bulb mold thin film 1 of the structure shown in drawing 1 The lead layer 34, the die length 2, i.e., component height Hg, which extends the sheet resistance of H12 and the lead layers 34 and 34 perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl2 and the magnetic-recording medium of a layered product 38 in the die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of 34. When Rsg2 is made into the range of 15-25ohms / ** for the range of 0.2-0.5 micrometers, and the sheet resistance of a layered product 38, it has the relation shown by the following general formula.

$(Rsl2/H12) \leq 1 \text{ohm/micrometer}$ When $(Rsl2/H12)$ exceeds micrometer in 1ohm /, since there is a possibility that the effectiveness which enlarges the ratio of the sense current which flows in from the overlay sections 34a and 34a of the lead layers 34 and 34 may fully be acquired no longer, and side leading may occur, it is not desirable. Moreover, when said Hg2 is made into the range of 0.2-0.5 micrometers and said Rsg2 is made into the range of 15-25ohms / ** in the relation between said H12 and said Rsl2, it is more desirable to have the relation shown by the following general formula.

$(Rsl2/H12) \leq 0.5 \text{ohm/micrometer}$ [0157] Moreover, as for the angle theta 2 of overlay section 34a of the lead layers 34 and 34, 34a front face, and layered product 38 front face to make, it is desirable to consider as the range of 45 - 70 degrees. (Please indicate briefly the reason for making :include angle into 45 - 70 degrees to artificers.) Moreover, please check a written content.

Since there is a possibility of generating side leading since the thickness of the point of the overlay sections 34a and 34a becomes thin, the sheet resistance Rsl2 of a point becomes large and the resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 18a and 18a becomes large when this include angle theta 2 is smaller than 45 degrees, it is not desirable. On the other hand, since a possibility that the level difference on an electrode layer top face and the top face of a layered product may become steep too much, it may become difficult for the insulator layer used as the up gap formed by the top face of a spin bulb mold thin film magnetic cell to cover this level difference, and up shielding and a spin bulb mold thin film magnetic cell may short-circuit electrically when

said include angle θ_2 is larger than 70 degrees arises, it is not desirable.

[0158] In this spin bulb mold thin film magnetic cell 1, the sense current J (arrow head J) is mainly impressed to a layered product 38 near the heads 34b and 34b of the overlay sections 34a and 34a. Therefore, what a sense current tends to flow to in a layered product 38 is the center of a layered product 38, and is a field where the overlay sections 34a and 34a are not put. In order that a sense current may concentrate on this field, the magnetic-reluctance (MR) effectiveness becomes large substantially, and the detection sensitivity of the leakage field of a magnetic-recording medium becomes high. Then, the field where the overlay sections 34a and 34a are not put is called the sensibility field S as shown in drawing 1. On the other hand, in the field in which the overlay sections 34a and 34a are put, compared with the sensibility field S, a sense current becomes very small, the magnetic-reluctance (MR) effectiveness becomes small substantially by this, and the detection sensitivity of the leakage field of a magnetic-recording medium falls. Thus, the field where the overlay sections 34a and 34a were put is called an insensible field N.

[0159] Thus, by making the lead connections 37 and 37 on the truck cross direction both ends of a layered product 38 put a part of lead layers 34 and 34 (overlay sections 34a and 34a) The part which contributes to playback of the record field from a magnetic-recording medium substantially (sensibility field S), The part (insensible field N) which does not contribute to playback of the record field from a magnetic-recording medium substantially is formed, the width of face of the sensibility field S turns into the magnetic width of recording track of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1, and it becomes possible to correspond to narrow track-ization.

[0160] moreover, the overlay sections 34a and 34a -- high -- low [which consists of Cu through the specific resistance 2nd antiferromagnetism layer 35] -- since it has joined to lobe 8a of the specific resistance 2nd nonmagnetic conductive layer 8 directly, the component which flows to a layered product 38 through the lead connections 37 and 37 among sense currents can be enlarged, and, thereby, other diversion-of-river components can be reduced substantially. The diversion-of-river component which flows from the 2nd antiferromagnetism layer 35 from the lead layers 34 and 34 to the layered product 38 by the side of a substrate 30 through the hard bias layers 32 and 32 especially is reduced substantially, and the sense current which flows to an insensible field N by this becomes small.

[0161] Therefore, a sense current can be centralized on the sensibility field S to which the lead layers 34 and 34 are not covered, the electrical-potential-difference change in the sensibility field S improves, and the output characteristics of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 can be improved. Moreover, since the diversion-of-river component of a sense current is reduced, in the insensible field N where covering formation of the lead layers 34 and 34 is carried out, a magneto-resistive effect is not substantially discovered and the leakage field from the recording track of a magnetic-recording medium is not detected. Thereby, side leading of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 can be prevented.

[0162] In addition, the sensibility field S of a layered product 38 can determine the range by the micro truck profile method.

[0163] Hereafter, the micro truck profile method is explained based on drawing 13. As shown in drawing 13, the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 concerning this invention which has the layered product which demonstrates a magneto-resistive effect, the hard bias layer formed in those both sides, and the lead layer which it was formed on this hard bias layer, and was put on the layered product is formed on a substrate.

[0164] Next, the width method A of the top face of the layered product which an electrode layer covers and has not hung with an optical microscope or an electron microscope is measured. This width method A is defined as the width of recording track Tw measured by optical means.

[0165] And the predetermined signal is recorded as a minute truck on the magnetic-recording medium, the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 is made to scan crosswise [truck] on this minute truck, and the relation between the width method A and a playback output is measured. Or the magnetic-recording medium side by which the minute truck was formed may be made to scan crosswise [truck] on a spin bulb mold thin film magnetic cell, and the relation between the width method A of a layered product and a playback output may be measured. The measurement result is shown in the drawing 13 bottom.

[0166] According to this measurement result, near the center of a layered product, it turns out that a playback output becomes high and a playback output becomes low near the flank of said layered product. Although a magneto-resistive effect is demonstrated good and it participates in a regenerative function near the center of a layered product from this result, in near [that] the both-sides section, a magneto-resistive effect gets worse, a playback output is low and the regenerative function is falling.

[0167] In this invention, the field formed by the width method B of the layered product which 50% or more of playback output generates to the maximum playback output is defined as the sensibility field S, and it defines the field formed by having the width method C of a layered product for generating only 50% or less of playback output to the maximum playback output as an insensible field N. As shown in drawing 13, the sensibility field S is a field which shows a magneto-resistive effect substantially, and the width method B of this sensibility field S turns into a magnetic truck width method. If an example is taken [that the width of face of the whole layered product is an about several micrometers zero point, and] although the width of recording track (width method B) of the sensibility field S is larger than the optical width of recording track Tw (dimension a) a little as shown in drawing 13, the difference is very small and it can be considered substantially that it is the same.

[0168] Next, the manufacture approach of the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell 1 is explained with reference to a drawing. This manufacture approach consists of the cascade screen formation process which forms a cascade screen, the resist formation process which forms a lift-off resist, the layered product formation process which forms the layered product of cross-sectional-view abbreviation trapezoidal shape, the hard bias layer formation process which carries out the laminating of the bias layer, a lead connection formation process, and a lead layer formation process.

[0169] As shown in drawing 14, in a cascade screen formation process, on a substrate 30 First, the substrate layer 3, the 1st antiferromagnetism layer 4, 1st strong magnetic pinned layer 5a, 1st nonmagnetic interlayer 5b, 2nd strong magnetic pinned layer 5c, the 1st nonmagnetic conductive layer 6, 1st diffusion prevention layer 7a, The laminating of ferromagnetic free layer 7b, 2nd diffusion prevention layer 7c, the 2nd nonmagnetic conductive layer 8, 3rd strong magnetic pinned layer 9a, 2nd nonmagnetic interlayer 9b, 4th strong magnetic pinned layer 9c, the 2nd antiferromagnetism layer 35, and the protective layer 36 is carried out one by one, and cascade screen 38a is formed. Next, in a resist formation process, as shown in drawing 14, the lift-off resist L is formed on cascade screen 38a. The lift-off resist L comes to provide the contact side 51 which touches cascade screen 38a, and the both-sides sides 52 and 52 which face across this contact side 51, it is between the contact side 51 and the both-sides sides 52 and 52, and the cut sections 53 and 53 of a couple are formed in the truck cross direction both sides of the contact side 51.

[0170] Next, in a layered product formation process, as shown in drawing 15, the ion beam of inert gas elements, such as Ar, is irradiated from the direction of an include angle theta 1 to a substrate 30 at cascade screen 38a, and cascade screen 38a which is in the graphic display X1 direction outside (truck cross direction outside) rather than the both-sides sides 52 and 52 of the lift-off resist L is etched to the middle of the 1st antiferromagnetism layer 4. Thus, the layered product 38 of cross-sectional-view abbreviation trapezoidal shape is formed. In addition, by having been etched to the middle of this layer, that part remains and the 1st antiferromagnetism layer 4 of a layered product 38 has the extension sections 4a and 4a which extend on graphic display X1 direction both sides.

[0171] moreover, the ion milling according [etching] to Ar and reactant ion -- it is desirable to carry out by it being dirty (RIE) etc. These approaches are excellent in the rectilinear-propagation nature of an etching particle, and can irradiate an etching corpuscular ray from a specific direction. Moreover, as for the include angle theta 1 which determines the direction of radiation of etching corpuscular rays, such as an ion beam, it is desirable that it is the range of 60-85 degrees. An include angle theta 1 can be specified as the grid front face of an ion gun by adjusting the include angle with a substrate 30 to make.

[0172] Thus, by irradiating an etching particle from an include angle theta 1, anisotropic etching can be performed to cascade screen 38a, cascade screen 38a outside the both-sides sides 52 and 52 of the lift-off resist L can be etched, and the layered product 38 of abbreviation trapezoidal shape can be

formed.

[0173] Next, in a hard bias layer formation process, as shown in drawing 16, the laminating of the bias substrate layer 31 and the hard bias layer 32 is carried out by depositing sputtered particles on the both sides of a layered product 38 to a substrate 30 from the direction of an include angle θ_2 (however, $\theta_2 > \theta_1$). The bias substrate layer 31 and the hard bias layers 32 are the both sides of a layered product 38, and carry out a laminating on extension section 4a of the 1st antiferromagnetism layer 4, and 4a. Moreover, as for the hard bias layers 32 and 32, it is desirable to carry out a laminating to the hierarchy location same at least as the free magnetic layer 7. In drawing 16, the laminating of the hard bias layer 32 is carried out so that top-face 32a of the hard bias layer 32 may become the same location as the joint of the free magnetic layer 7 and the 2nd nonmagnetic conductive layer 8. Moreover, in the case of deposition of sputtered particles, deposition of sputtered particles occurs also to the lift-off resist L, and the same layer 31' of a presentation as the bias substrate layer 31 and the hard bias layer 32 and 32' form on the lift-off resist L.

[0174] Next, as shown in drawing 17, the laminating of the interlayers 33 and 33 is carried out by depositing sputtered particles from the direction of an include angle θ_1 on the hard bias layer 32 and 32 to a substrate 30. As for interlayers 33 and 33, it is desirable to carry out a laminating to the same hierarchy location as a protective layer 36. In drawing 17, an interlayer's 33 top face becomes the same location as the top face of the protective layer 36 of a layered product 38. Moreover, in the case of deposition of sputtered particles, deposition of sputtered particles occurs also to the lift-off resist L, and layer 33' of the same presentation as an interlayer 33 forms on the lift-off resist L.

[0175] As for deposition of sputtered particles here, it is desirable to carry out by the spatter which combined the ion beam spatter method, the long slow spatter method, the collimation spatter method, or them. These approaches are excellent in the rectilinear-propagation nature of sputtered particles, and can irradiate sputtered particles from a specific direction. Moreover, as for an include angle θ_2 , it is desirable that it is the range of 70-90 degrees. As for an include angle θ_2 , it is desirable to make it larger than an include angle θ_1 to substrate 30 front face, i.e., to use an include angle θ_2 as an obtuse angle from an include angle θ_1 . By adjusting the front face of the target for spatters and the include angle with a substrate 30 to make can prescribe an include angle θ_1 and an include angle θ_2 .

[0176] Thus, by depositing sputtered particles from the direction of an include angle θ_2 , the laminating of the bias substrate layers 31 and 31 and the hard bias layers 32 and 32 can be carried out only to the graphic display X1 direction outside of the cut sections 53 and 53 of the lift-off resist L. Moreover, the hard bias layers 32 and 32 can be formed in the same hierarchy location as the free magnetic layer 7, without making the both-sides side of a layered product 38 run aground. Moreover, interlayers 33 and 33 can be formed to the same location as the top face of the protective layer 36 of a layered product 38 by depositing sputtered particles and performing an interlayer's 33 formation from the direction of an include angle θ_1 .

[0177] Next, in a lead connection formation process, as shown in drawing 18, etching corpuscular rays, such as another ion beam, are irradiated to a substrate 30 from the direction of an include angle θ_3 (however, $\theta_2 > \theta_3$). A part of the protective layer 36 in the location corresponding to the cut sections 53 and 53 of a couple, 2nd antiferromagnetism layer 35, 2nd fixed magnetic layer 9, and 2nd nonmagnetic conductive layer 8 are etched by this, the graphic display X1 direction ends of a layered product 38 are used as a notch, and the lead connections 37 and 37 of a couple are formed. At this time, the extension sections 8a and 8a which extend on truck cross direction both sides are formed by etching a part of 2nd nonmagnetic conductive layer 8. Moreover, at this time, the middle class 33 is also etched simultaneously and is etched to the hierarchy location as the top face of the extension sections 8a and 8a of the 2nd nonmagnetic conductive layer 8 where that top face is the same.

[0178] Moreover, it is desirable to perform etching by the ion milling by Ar, reactive ion etching (RIE), etc. These approaches are excellent in the rectilinear-propagation nature of an etching particle, and can irradiate an etching corpuscular ray from a specific direction. Moreover, as for the include angle θ_3 which determines the direction of radiation of an etching particle, it is desirable that it is the range of 40-70 degrees. As for an include angle θ_3 , it is desirable to make it smaller than an include angle θ_1 and an include angle θ_2 to the front face of a substrate 30, i.e., to use an

include angle theta 3 as an acute angle from an include angle theta 1 or an include angle theta 2. By adjusting the front face of the grid of an ion gun and the include angle with a substrate 30 to make can prescribe an include angle theta 3.

[0179] Thus, by irradiating etching particles, such as an ion beam, from the direction of the acute angle include angle theta 3 from include angles theta1 and theta2, an ion beam can be irradiated to the layered product 38 in the location corresponding to the cut sections 53 and 53 of the lift-off resist L, a notch can be prepared in a part of layered product 38, and the lead connections 37 and 37 can be formed.

[0180] Moreover, the width of face M of the graphic display X1 direction of each lead connection 37 is prescribed by width-of-face M' of the graphic display X1 direction of each cut section 53 of the lift-off resist L. In drawing 18, although the width of face M of the graphic display X1 direction of the lead connection 37 is large a little rather than width-of-face M' of the graphic display X1 direction of the cut section 53, if an example is taken [that the width of face of the layered product 38 whole is an about several micrometers zero point, and], the difference of width of face M and width-of-face M' is small, and it can be considered substantially that it is the same. Therefore, since width-of-face M' of the graphic display X1 direction of the cut section 53 can prescribe the width of face M of the graphic display X1 direction of the lead connection 37, the width method of the graphic display X1 direction of the lead connection 37 can be controlled to a precision, and it can constitute so that the touch area of the lead layer 34 in the lead connection 37 may be controlled and a sense current can be efficiently impressed to a layered product 38.

[0181] Furthermore, it is desirable to analyze the sputtered-particles kind begun to beat from the layered product 38 on the occasion of etching with a secondary ion mass spectrum analysis method, and to detect the terminal point of etching. For example, when 3rd strong magnetic pinned layer 9a is constituted from a FeNi alloy and the 2nd nonmagnetic conductive layer is constituted from Cu, respectively Since Cu which constitutes the 2nd nonmagnetic conductive layer 8 is begun to beat after the sputtered particles of Fe and nickel which constitute 3rd strong magnetic pinned layer 9a by etching are begun to beat If etching is suspended after predetermined time amount progress after detecting Cu with a secondary ion mass spectrum analysis method, when it etches to a part of 2nd nonmagnetic conductive layer 8, formation of the lead connection 37 can be stopped. Thereby, precision of etching at the time of lead connection 37 formation can be made high, and the lead connections 37 and 37 can be formed with a sufficient precision.

[0182] And in a lead layer formation process, as shown in drawing 19, the laminating of the lead layers 34 and 34 is carried out to a substrate 30 by depositing still more nearly another sputtered particles from the direction of an include angle theta 3. The laminating of the lead layers 34 and 34 is carried out on extension section 8a of interlayers 33 and 33 and the 2nd nonmagnetic conductive layer 8, and 8a. Thus, it extends in the center of a layered product 38 from the X1 direction both sides of a layered product 38, and the lead layers 34 and 34 which connect with this layered product 38 in the lead connections 37 and 37 are formed. Formation of these lead layers 34 and 34 is formed so that the angle theta 2 of overlay section 34a, 34a front face, and layered product 38 front face to make may serve as the range of 45 - 70 degrees. Moreover, in the case of deposition of sputtered particles, deposition of sputtered particles occurs also to the lift-off resist L, and layer 34' of the same presentation as the lead layer 34 forms on the lift-off resist L.

[0183] As for deposition of sputtered particles, it is desirable to carry out by the spatter which combined the ion beam spatter method, the long slow spatter method, the collimation spatter method, or them. These approaches are excellent in the rectilinear-propagation nature of sputtered particles, and can irradiate sputtered particles from a specific direction. Moreover, as for the include angle theta 3 which determines the direction of radiation of sputtered particles, it is desirable to make it almost the same as whenever [illuminating-angle / of the ion beam in the case of a lead connection formation process]. By adjusting the front face of the target for spatters and the include angle with a substrate 30 to make can prescribe an include angle theta 3.

[0184] Thus, by depositing sputtered particles from an include angle theta 3, the laminating of the lead layers 34 and 34 can be carried out on the lead connection 37 in the location corresponding to the cut sections 53 and 53 of the lift-off resist L, and 37, and the overlay sections 34a and 34a of the lead layers 34 and 34 can be directly joined to the extension sections 8a and 8a of the 2nd

nonmagnetic conductive layer 8.

[0185] While removing the lift-off resist L, performing annealing treatment in a magnetic field etc. finally, making the 1st and 2nd antiferromagnetism layers 4 and 35 discover a switched connection field and fixing the magnetization direction of the 1st and 2nd fixed magnetic layers 5 and 9 The spin bulb mold thin film magnetic cell 1 as shown in drawing 1 is obtained by magnetizing the hard bias layers 32 and 32 by making a bias field discover and making the magnetization direction of the free magnetic layer 7 arranged in the graphic display X1 direction.

[0186] According to the manufacture approach of the above-mentioned spin bulb mold thin film magnetic cell 1, irradiate etching particles, such as an ion beam, from the direction of an include angle theta 1, and the layered product 38 of cross-sectional-view abbreviation trapezoidal shape is formed. Since still more nearly another sputtered particles from the direction of an include angle theta 3 ($\theta_1 > \theta_3$) are irradiated and the lead connections 37 and 37 of a couple are formed in the location corresponding to the cut sections 53 and 53 of the lift-off resist L By one lift-off resist L, formation of a layered product 38 and formation of the lead connections 37 and 37 can be performed, and the production process of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 can be shortened.

[0187] Such a spin bulb mold thin film magnetic cell 1 Since it has the lead layer 34 equipped with the overlay sections 34a and 34a which extend on the front face of a layered product 38 towards a part for a center section from the both sides of a layered product 38 A part for the center section of a layered product 38 is made into the sensibility field S, and since the both-sides part of the layered product 38 located in the overlay sectionsa [34] and 34a bottom is made into an insensible field N, it can make width of face of the sensibility field S the width of recording track. Therefore, the width of recording track can be narrowed and it becomes possible to correspond to narrow track-ization aiming at the densification of recording density.

[0188] And this spin bulb mold thin film magnetic cell 1 the die length, i.e., the component height, which extends the sheet resistance of H12 and the lead layers 34 and 34 perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl2 and the magnetic-recording medium of a layered product 38 in the die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of the lead layers 34 and 34 Since it has the relation shown by $(R_{sl2}/H_{l2}) / (R_{sg2}/H_{g2}) \leq 0.02$ when Hg2 and the sheet resistance of said layered product are set to Rsg2 The resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 34a and 34a can be reduced, and the diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 32 can be lessened. Consequently, since the sense current which flows to the insensible field N in which it is located under the overlay sections 34a and 34a of a layered product decreases and magnetic-reluctance change in an insensible field N stops being substantially discovered, it becomes possible to prevent side leading of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1. Moreover, since the diversion of river of a sense current can be lessened and a sense current can be centralized on the sensibility field S located in a part for the center section of a layered product 38, it becomes possible to improve substantially and to raise the output characteristics of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 of the resistance rate of change in the sensibility field S.

[0189] Furthermore, this spin bulb mold thin film magnetic cell 1 Since it has the relation indicated to be said H12, said Rsl2, and said Hg2 in relation with said Rsg2 by $(R_{sl2}/H_{l2}) / (R_{sg2}/H_{g2}) \leq 0.01$ The resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 34a and 34a can be reduced further, and the diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 32 can be lessened further.

[0190] Moreover, this spin bulb mold thin film 1 The lead layer 34, the die length 2, i.e., component height Hg, which extends the sheet resistance of H12 and the lead layers 34 and 34 perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl2 and the magnetic-recording medium of a layered product 38 in the die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of 34 Since it has the relation shown by resistance $(R_{sl2}/H_{l2}) \leq 1 \text{ ohm/micrometer}$ per unit length of the X1 direction of a lead layer when Rsg2 is made into the range of 15-25ohms / ** for the range of 0.2-0.5 micrometers, and the sheet resistance of a layered product 38 The resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 34a and 34a can be reduced, and the diversion of river of the sense current

which flows in via the hard bias layer 32 can be lessened.

[0191] Furthermore, this spin bulb mold thin film 1 is set in the relation between said H12 and said Rsl2. Since it has the relation shown by $\leq (Rsl2/H12) 0.5\text{ohm/micrometer}$ when said Hg2 is made into the range of 0.2-0.5 micrometers and said Rsg2 is made into the range of 15-25ohms / ** The resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 34a and 34a can be reduced, and the diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 32 can be lessened further.

[0192] Furthermore, it sets to this spin bulb mold thin film magnetic cell 1. The angle theta 2 of overlay section 34a of the lead layers 34 and 34, 34a front face, and layered product 38 front face to make Since it considers as the range of 45 - 70 degrees, the resistance to the sense current which flows in from the overlay sections 34a and 34a can be reduced further, and the diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 32 can be lessened further.

[0193] As mentioned above, this spin bulb mold thin film 1 can become what has the few diversion of river of the sense current which flows in via the hard bias layer 32, and side leading of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 can be prevented much more effectively. Moreover, it becomes possible to improve further and to raise further the output characteristics of the spin bulb mold thin film magnetic cell 1 of the substantial resistance rate of change in the minute field in the sensibility field S.

[0194] In the spin bulb mold thin film magnetic cell of this invention The die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of an electrode layer H1, When Hg and the sheet resistance of said layered product are set to Rsg, the die length, i.e., the component height, which extends the sheet resistance of an electrode layer perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl and the magnetic-recording medium of a layered product, It has the relation shown by $(Rsl/H1)/(Rsg/Hg) \leq 0.02$. The die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of an electrode layer And H1, the die length, i.e., component height Hg, which extends the sheet resistance of an electrode layer perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl and the magnetic-recording medium of a layered product, the range of 0.2-0.5 micrometers, Although it is desirable to have the relation shown by resistance $(Rsl/H1) \leq 1\text{ohm/micrometer}$ per unit length of the X1 direction of an electrode layer when Rsg is made into the range of 15-25ohms / ** for the sheet resistance of a layered product, it is good also as what has one of relation.

[0195] Moreover, in the spin bulb mold thin film magnetic cell of this invention, although it is good also as what prepared the hard bias layer as a bias layer as shown in the example mentioned above, as a bias layer, a ferromagnetic layer and an antiferromagnetism layer are good also as what prepared the exchange bias layer which comes to carry out a laminating, and are not limited especially.

[0196] Moreover, in the spin bulb mold thin film magnetic cell of this invention, as shown in the example mentioned above, you may not come to consider as the ferrimagnetism condition that 180 degrees of sense of magnetization differ in the layers by which any one or more layers of a fixed magnetic layer and the free magnetic layer were divided and divided by two through the nonmagnetic interlayer, and all the fixed magnetic layers and free magnetic layers may not be made into the ferrimagnetism condition.

[0197] Moreover, it sets to the spin bulb mold thin film magnetic cell of this invention. As were shown in the 1st operation gestalt, and it is good also as what prepared the BAKKUDO layer as a mean-free-path extension layer and was shown in the 2nd operation gestalt It is good also as what prepared the specular reflection layer as a mean free path extension layer, and as shown in the 3rd operation gestalt, it is good also as what does not prepare a mean free path extension layer.

[0198] Moreover, it is good also as what prepared both the BAKKUDO layer and the specular reflection layer in the opposite hand of the field which touches said free magnetic layer of the BAKKUDO layer connected to the free magnetic layer, for example by carrying out the laminating of the specular reflection layer. By considering as such a spin bulb mold thin film magnetic cell, the spin filter effectiveness of a BAKKUDO layer and the improvement effectiveness of the magnetic-reluctance rate of change by the specular reflection effectiveness of a specular reflection layer can be demonstrated simultaneously. Thus, as a mean-free-path extension layer, when both a BAKKUDO

layer and a specular reflection layer shall be prepared, as for the thickness of a specular reflection layer, and the thickness of a BAKKUDO layer, it is desirable to be set up as thickness of the whole mean-free-path extension layer including both.

[0199] The thickness of a mean-free-path extension layer, i.e., the thickness of a BAKKUDO layer, can be made into the range of 5-30A. If the thickness as this mean free path extension layer is set as a value thinner than 5A, since the extended effectiveness of a mean free path will not fully be acquired but the playback output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell will get worse, it is not desirable. Moreover, the upper limit of a specular reflection layer needs to be decided from playback gap length, and needs to be 500A or less in general.

[0200] Thus, by setting up, a specular reflection layer forms a potential barrier in near the interface of a BAKKUDO layer and a specular reflection layer, it can reflect the conduction electron of rise spin which moves a BAKKUDO layer, saving the condition of spin in near the interface of a BAKKUDO layer and a specular reflection layer, and as the mean free path of the conduction electron of rise spin is extended further and mentioned above, it shows the so-called specular reflection effectiveness. Moreover, since specular reflection of the conduction electron of the rise spin to which the mean free path extended according to the spin filter effectiveness of a BAKKUDO layer can be carried out near the interface of a BAKKUDO layer and a specular reflection layer, in order to become possible to extend further the average free process of the conduction electron of rise spin and to show the so-called specular reflection effectiveness by setting out of the thickness of a mean-free-path extension layer, magnetic-reluctance rate of change can be made higher.

[0201] Next, the thin film magnetic head of this invention is explained in detail. Drawing 20 is the perspective view having shown an example of the thin film magnetic head of this invention. This thin film magnetic head is the thing of the floatation type carried in magnetic-recording media, such as a hard disk drive unit. The side shown with a sign 236 by the leading side by which the side which shows the slider 251 of this thin film magnetic head with a sign 235 in drawing 20 turns to the upstream of the migration direction of a disk side is a trailing side. In the field which counters the disk of this slider 251, rail-like the ABS sides (pneumatic-bearing side: floatation side of the rail section) 251a, 251a, and 251b and the Ayr grooves 251c and 251c are formed. And the magnetic-core section 250 is formed in 251d of end faces by the side of trailing of this slider 251.

[0202] The magnetic-core section 250 of the thin film magnetic head shown in this example is the compound-die magnetic head of the structure shown in drawing 21 and drawing 22, and on 251d of trailing side edge sides of a slider 251, the laminating of MR head (read head) h1 and the inductive head (write head) h2 is carried out to order, and it is constituted.

[0203] The lower gap layer 254 is formed on the lower shielding layer 253 which MR head h1 of this example becomes from the magnetic alloy formed in the trailing side edge section of the slider 251 which serves as a substrate. And on the lower gap layer 254, the laminating of the magneto-resistive effect component layer 245 is carried out. The up gap layer 256 is formed on this magneto-resistive effect component layer 245, and the up shielding layer 257 is formed on it. Besides, let the section shielding layer 257 at combination be the lower core layer of the inductive head h2 formed on it. This MR head h1 reads the content of record of a record medium by changing resistance of the magneto-resistive effect component layer 245, and reading this resistance change by the existence of the minute leakage field from magnetic-recording media, such as a disk of a hard disk.

[0204] The magneto-resistive effect component layer 245 prepared in said MR head h1 is equipped with the spin bulb mold thin film magnetic cell mentioned above. Said spin bulb mold thin film magnetic cell is most important thing that constitutes a thin film magnetic head (head for playback).

[0205] Moreover, the coil layer 266 patternized so that the gap layer 264 might be formed on the lower core layer 257 and an inductive head h2 might become spiral superficially on it is formed. Said coil layer 266 is surrounded by 1st insulating material layer 267A and 2nd insulating material layer 267B. As the thickness of magnetic gap G is made to end and counter the lower core layer 257 and the pole tip section 268a is shown in drawing 21 and drawing 22 by ABS side 251b, the up core layer 268 formed on 2nd insulating material layer 267B connects the end face section 268b to the lower core layer 257 magnetically, and is prepared. Moreover, on the up core layer 268, the protective layer 269 which consists of an alumina etc. is formed.

[0206] In such an inductive head h2, a record current is given to the coil layer 266 and record

magnetic flux is given to a core layer from the coil layer 266. And said inductive head h2 records a magnetic signal on magnetic-recording media, such as a hard disk, by the leakage field from the point of the lower core layer 257 in the part of magnetic gap G, and the up core layer 268.

[0207] In order to manufacture the thin film magnetic head of this invention, after forming the lower gap layer 254 first on the lower shielding layer 253 made from the magnetic material shown in drawing 21, said spin bulb mold thin film magnetic cell which forms the magneto-resistive effect component layer 254 is formed. Then, if the up shielding layer 257 is formed through the up gap layer 256 on said spin bulb mold thin film magnetic cell, MR head (read head) h1 will be completed. Then, the gap layer 264 is formed on the up shielding layer 257 of said MR head h1, and the lower core layer 257 which is combination, and it forms so that the spiral coil layer 266 may be surrounded on it by 1st insulating material layer 267A and 2nd insulating material layer 267B. Furthermore, the up core layer 268 is formed on 2nd insulating material layer 267B, and it considers as a thin film magnetic head by forming a protective layer 269 on the up core layer 268.

[0208] Since such a thin film magnetic head is a thin film magnetic head for which it comes to prepare the spin bulb mold thin film magnetic cell mentioned above, the playback output of magnetic information is high and the probability of side leading generating serves as the low thin film magnetic head.

[0209] In addition, as for the configuration of the slider part of the thin film magnetic head, and the configuration of an inductive head, it is needless to say that it is not limited to what is shown in drawing 20 - drawing 22, but other various sliders and inductive heads of structure can be adopted.

[0210] (Example) It manufactured on the conditions which show the spin bulb mold thin film magnetic cell which has the same structure as the 1st operation gestalt shown in drawing 1 in a table 1, and considered as the example 1 - the example 15 and the conventional example 1 - the conventional example 3.

[0211]

[A table 1]

		電極 厚み t (Å)	電極 長さ H ₁ (μm)	電極比 抵抗 ρ ₁ (μΩcm)	電極シート 抵抗 R _{s1} (Ω/□)	電極 角度 θ (deg)	R _{s1} / H ₁ (Ω/μm)	GMR 素子 長さ H _g (μm)	GMR シート 抵抗 R _{sg} (Ω/□)	R _{sg} / H _g (Ω/μm)	R _{s1} / H ₁ R _{sg} / H _g	オフトラック 位置での 相対出力	実効 トラック幅 (μm)
実 施 例	1	900	1.8	7	0.7	90	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.0086	0.362
	2	900	1.8	7	0.7	45	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.0088	0.365
	3	900	1.8	7	0.7	30	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.0084	0.370
	4	900	1.8	7	0.7	20	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.009	0.374
	5	900	1.8	18.5	2.0	90	1.1	0.3	19.96	66.53	0.017	0.0248	0.367
	6	900	1.8	18.5	2.0	20	1.1	0.3	19.96	66.53	0.017	0.0239	0.392
	7	900	1.8	18.5	2.0	30	1.1	0.3	19.96	66.53	0.017	0.0242	0.385
	8	900	1.8	18.5	2.0	45	1.1	0.3	19.96	66.53	0.017	0.0245	0.377
	9	450	5	18.5	4.1	90	0.8	0.3	19.96	66.53	0.012	0.0185	0.365
	10	450	5	18.5	4.1	90	0.8	0.4	19.96	49.9	0.016	0.0217	0.376
	11	450	5	18.5	4.1	90	0.8	0.5	19.96	39.92	0.020	0.0244	0.385
	12	900	5	18.5	2.0	90	0.4	1	19.96	19.96	0.020	0.0245	0.415
	13	900	5	18.5	2.0	90	0.4	0.5	19.96	39.92	0.010	0.0088	0.381
	14	900	5	18.5	2.0	90	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.0082	0.362
	15	450	1.8	3.5	0.7	90	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.009	0.362
従 来 例	1	900	1.8	18.5	2.0	90	1.1	0.5	19.96	39.92	0.028	0.0331	0.387
	2	900	1.8	18.5	2.0	90	1.1	0.7	19.96	28.51	0.040	0.0408	0.403
	3	450	5	18.5	4.1	90	0.8	1	19.96	19.96	0.041	0.0399	0.425

[0212] In a table 1, "thickness of an electrode" is the dimension shown with Sign t in drawing 1, and is the thickness of the electrode layer measured from an opposed face with a magnetic-recording medium. Moreover, "electrode die length" is die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of an electrode layer, and "electrode sheet resistance" is the value which broke the specific resistance of an electrode layer by thickness of an electrode layer. "GMR component die length" is die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of a layered product, and, generally it is also called "component height." Moreover, "GMR sheet resistance" is the value which broke the specific resistance of a layered product by total thickness of a layered product. Moreover, an "electrode include angle" is an angle on the overlay section front face of an electrode layer, and the front face of a layered product to make. Moreover, "the relative output in an off-track location" here is the value which broke the

average of a playback output with a location (off-track location) of ± 0.7 micrometers by the value of the playback output based on components from the component core of a spin bulb mold thin film magnetic cell. Moreover, the "effective width of recording track" is the width method of the layered product which 50% or more of playback output generates to the maximum playback output, and it is determined by the micro truck profile method.

[0213] The thickness of each class in the layered product 16 of the spin bulb mold thin film magnetic cell of an example 1 - an example 15 and the conventional example 1 - the conventional example 3 is set as Ta30/PtMn150/Co20/Ru8/Co25/Cu25/Co10/NiFe30/Cu15/Ta30 (several correspond each to the Angstrom unit of each thickness) from the bottom. Moreover, the dimension of the width of recording track T_w in drawing 1 was formed as 0.35 micrometers, and the dimension of the width of face which doubled the dimension of the width of recording track T_w and the width methods T and T of the overlay sections 18a and 18a of the both sides was formed as 2.0 micrometers.

[0214] Thus, the relation between $(R_{sl}/H_l)/(R_{sg}/H_g)$ of the spin bulb mold thin film magnetic cell of the acquired example 1 - an example 15 and the conventional example 1 - the conventional example 3 and the effective width of recording track was investigated. The result is shown in drawing 25. As for 0.02 or less spin bulb mold thin film magnetic cell which is the range where $(R_{sl}/H_l)/(R_{sg}/H_g)$ is more desirable than drawing 25, it turns out that the effective width of recording track is narrow. Furthermore, 0.01 or less spin bulb mold thin film magnetic cell whose $(R_{sl}/H_l)/(R_{sg}/H_g)$ is the more desirable range has checked that the effective width of recording track was still narrower.

[0215] Furthermore, the relation between $(R_{sl}/H_l)/(R_{sg}/H_g)$ of the spin bulb mold thin film magnetic cell of an example 1 - an example 15 and the conventional example 1 - the conventional example 3 and the relative output in an off-track location was investigated. The result is shown in drawing 26. As for 0.02 or less spin bulb mold thin film magnetic cell which is the range where $(R_{sl}/H_l)/(R_{sg}/H_g)$ is more desirable than drawing 26, it turns out that the relative output in an off-track location is small. Furthermore, 0.01 or less spin bulb mold thin film magnetic cell whose $(R_{sl}/H_l)/(R_{sg}/H_g)$ is the more desirable range has checked that the relative output in an off-track location was still smaller.

[0216] Moreover, relation with the relative output in (R_{sl}/H_l) and the off-track location of a spin bulb mold thin film magnetic cell of an example 1 - an example 15 and the conventional example 1 - the conventional example 3 was investigated. The result is shown in drawing 27. In drawing 27, only that whose H_g is 0.3-0.5 micrometers is plotted among the examples shown in a table 1. As for the spin bulb mold thin film magnetic cell of 1ohm/micrometer or less whose (R_{sl}/H_l) is the desirable range, drawing 27 shows that the relative output in an off-track location is small. Furthermore, the spin bulb mold thin film magnetic cell of 0.5ohms/micrometer or less whose (R_{sl}/H_l) is more desirable range has checked that the relative output in an off-track location was still smaller.

[0217] Furthermore, the relation between the electrode include angle θ and the effective width of recording track was investigated using the spin bulb mold thin film magnetic cell of an example 1 - an example 8. The result is shown in drawing 28. In drawing 28, sign $\ast\ast$ shows the result of an example 1 - an example 4, and sign \diamond shows the result of an example 5 - an example 8. Drawing 28 shows that the effective width of recording track is narrow at 45 - 70 degrees which is the range where an electrode include angle is desirable. Moreover, when smaller than 45 degrees, it turns out that the width of recording track is large rapidly. Moreover, as compared with the example 5 whose value of $(R_{sl}/H_l)/(R_{sg}/H_g)$ is 0.01 or more - an example 8, as for the example 1 from which the value of $(R_{sl}/H_l)/(R_{sg}/H_g)$ has become less than [which is the more desirable range] 0.01 - an example 4, it turns out that the effective width of recording track is narrow.

[0218] moreover, spin bulb mold thin film MAG $\ast\ast\ast\ast$ of an example 1, an example 13, and the conventional example 1 -- the playback output was just measured by $\ast\ast$ and the micro truck profile method. The result is shown in drawing 29, drawing 30, and drawing 31. Drawing 29 is the graph which showed the playback output relative value of an example 1, drawing 30 is the graph which showed the playback output relative value of an example 13, and drawing 31 is the graph which showed the playback output relative value of the conventional example 1.

[0219] Although it has sensibility from the component core in the location (off-track location) of ± 0.7 micrometers in the playback output relative value of the conventional example shown in

drawing 31 if drawing 29 and drawing 30 are compared with drawing 31, it turns out that it does not have sensibility in the playback output relative value of the example 1 and example 13 which were shown in drawing 29 and drawing 30. From this, the example 1 and the example 13 have checked that it was hard to generate side leading as compared with the conventional example 1.

[0220]

[Effect of the Invention] Since the spin bulb mold thin film magnetic cell of this invention has the electrode layer equipped with the overlay section which extends on the surface of a layered product towards a part for a center section from the both sides of a layered product, a part for the center section of a layered product is made into a sensibility field, and since the both-sides part of the layered product located in the overlay section bottom is made into an insensible field, it can make width of face of a sensibility field the width of recording track. Therefore, the width of recording track can be narrowed and it becomes possible to correspond to narrow track-ization aiming at the densification of recording density.

[0221] And this spin bulb mold thin film magnetic cell The die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of an electrode layer Hl, When Hg and the sheet resistance of said layered product are set to Rsg, the die length, i.e., the component height, which extends the sheet resistance of an electrode layer perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl and the magnetic-recording medium of a layered product, Since it has the relation shown by $(Rsl/Hl)/(Rsg/Hg) \leq 0.02$, the resistance to the sense current which flows in from the overlay section can be reduced, and the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer can be lessened. Consequently, since the sense current which flows to the insensible field in which it is located under the overlay section of a layered product decreases and magnetic-reluctance change in an insensible field stops being substantially discovered, it becomes possible to prevent side leading of a spin bulb mold thin film magnetic cell.

[0222] Moreover, since the diversion of river of a sense current can be lessened and a sense current can be centralized on the sensibility field located in a part for the center section of a layered product, it becomes possible to improve substantially and to raise the output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell of the resistance rate of change in a sensibility field.

[0223] Furthermore, since this spin bulb mold thin film magnetic cell has the relation indicated to be said Hl, said Rsl, and said Hg by $(Rsl/Hl)/(Rsg/Hg) \leq 0.01$ in relation with said Rsg, it can reduce further the resistance to the sense current which flows in from the overlay section, and can lessen further the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer.

[0224] This spin bulb mold thin film the die length which extends perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with the magnetic-recording medium of an electrode layer Moreover, Hl, the die length, i.e., component height Hg, which extends the sheet resistance of an electrode layer perpendicularly toward the direction of the interior from an opposed face with Rsl and the magnetic-recording medium of a layered product, the range of 0.2-0.5 micrometers, Since it has the relation shown by resistance $(Rsl/Hl) \leq 1 \text{ ohm/micrometer}$ per unit length of the truck cross direction of an electrode layer when the sheet resistance Rsg of a layered product is made into the range of 15-25ohms / ** The resistance to the sense current which flows in from the overlay section can be reduced, and the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer can be lessened.

[0225] Furthermore, this spin bulb mold thin film is set in the relation between said Hl and said Rsl. Since it has the relation shown by $\leq (Rsl/Hl) 0.5 \text{ ohm/micrometer}$ when said Hg is made into the range of 0.2-0.5 micrometers and said Rsg is made into the range of 15-25ohms / ** The resistance to the sense current which flows in from the overlay section can be reduced further, and the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer can be lessened further.

[0226] Furthermore, in this spin bulb mold thin film magnetic cell, since the angle on said overlay section front face of an electrode layer and the front face of a layered product to make is made into the range of 45 - 70 degrees, it can reduce further the resistance to the sense current which flows in from the overlay section, and can lessen further the diversion of river of the sense current which flows in via a bias layer.

[0227] As mentioned above, this spin bulb mold thin film can become what has the few diversion of

river of the sense current which flows in via a bias layer, and side leading of a spin bulb mold thin film magnetic cell can be prevented much more effectively. Moreover, it becomes possible to improve further substantially and to raise further the output characteristics of a spin bulb mold thin film magnetic cell of the resistance rate of change in a sensibility field.

[0228] By moreover, the thing to consider as the spin bulb mold thin film magnetic cell which it comes to make into the dual mold structure where the nonmagnetic conductive layer, the fixed magnetic layer, and the antiferromagnetism layer were respectively formed in the thickness direction both sides of said free magnetic layer It shall become what has 2 sets of combination of three layers of a free magnetic layer / nonmagnetic conductive layer / fixed magnetic layer, big $\Delta R/R$ (resistance rate of change) shall be obtained as compared with a single spin bulb mold thin film magnetic cell, and it shall respond to high density record-ization.

[0229] Furthermore, by considering as the spin bulb mold thin film magnetic cell in which the mean-free-path extension layer for extending the mean free path of conduction electron was formed, big $\Delta R/R$ (resistance rate of change) shall be obtained, and it shall respond to high density record-ization.

[0230] Moreover, by considering as the spin bulb mold thin film by which the fixed magnetic layer was divided by two through the nonmagnetic middle class at least, among the fixed magnetic layers divided by two, one side bears the role which fixes the fixed magnetic layer of another side in the proper direction, and becomes possible [maintaining the condition of a fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized dramatically]. By considering as the spin bulb mold thin film by which the free magnetic layer was divided by two through the nonmagnetic middle class at least further again, a switched connection field occurs among the free magnetic layers divided by two, and it considers as a ferrimagnetism condition, and can rotate with sufficient sensibility to an external magnetic field.

[0231] An antiferromagnetism layer Furthermore, at least one sort or two sorts or more of elements of Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os, Au, Ag, Cr, nickel, Ne, Ar, Xe, and the Kr(s), Since it becomes the antiferromagnetism layer in which a switched connection field is high, is excellent in corrosion resistance, and discovers switched connection field sufficient also at comparatively high temperature by considering as the spin bulb mold thin film which consists of an alloy containing Mn It becomes possible to stabilize actuation of a spin bulb mold thin film magnetic cell, and it becomes possible to stabilize the actuation under an elevated temperature of it comparatively especially.

[0232] Since the thin film magnetic head of this invention equips above either with the spin bulb mold thin film magnetic cell of a publication, the playback output of magnetic information is high and the probability of side leading generating can constitute the low thin film magnetic head.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the sectional view having shown the structure at the time of seeing the 1st operation gestalt of the spin bulb mold thin film magnetic cell concerning this invention from an opposed face side with a record medium.

[Drawing 2] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 1 , and is the sectional view showing the situation which formed the list-off resist in the cascade screen on a substrate.

[Drawing 3] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 1 , and is the sectional view showing the situation in which the layered product was formed.

[Drawing 4] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 1 , and is the sectional view showing the situation in which the hard bias layer was formed.

[Drawing 5] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 1 , and is the sectional view showing the situation of having removed a part of layered product front face.

[Drawing 6] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 1 , and is the sectional view showing the situation in which the electrode layer was formed.

[Drawing 7] In a spin bulb mold thin film magnetic cell, it is a ** type explanatory view for explaining the contribution to the spin filter effectiveness by the BAKKUDO layer, and drawing 7 (a) is the sectional view showing the example of a spin bulb mold thin film magnetic cell without a BAKKUDO layer, and drawing 7 (b) is the sectional view showing the example of the spin bulb mold thin film magnetic cell in this operation gestalt.

[Drawing 8] It is a ** type explanatory view explaining a convention of the fluctuation magnetization direction of the free magnetic layer of a spin bulb mold thin film magnetic cell.

[Drawing 9] It is drawing which explains reduction of the contribution to the fluctuation magnetization M of a free magnetic layer from a sense current field by the BAKKUDO layer of a spin bulb mold thin film magnetic cell, and drawing 9 (a) is a cross-sectional view vertical to the medium opposed face (ABS side) which shows the example of a spin bulb mold thin film magnetic cell without a BAKKUDO layer, and drawing 9 (b) and drawing 9 (c) are cross-sectional views vertical to the medium opposed face (ABS side) which shows the example of the spin bulb mold thin film magnetic cell in this operation gestalt.

[Drawing 10] It is the sectional view having shown the structure at the time of seeing the 2nd operation gestalt of the spin bulb mold thin film magnetic cell concerning this invention from an opposed face side with a record medium.

[Drawing 11] In a spin bulb mold thin film magnetic cell, it is a ** type explanatory view for explaining the contribution to the specular reflection effectiveness by the specular reflection layer, and drawing 11 (a) is the sectional view showing the example of a spin bulb mold thin film magnetic cell without a specular reflection layer, and drawing 11 (b) is the sectional view showing the example of the spin bulb mold thin film magnetic cell in this operation gestalt.

[Drawing 12] It is the sectional view having shown the structure at the time of seeing the 3rd

operation gestalt of the spin bulb mold thin film magnetic cell concerning this invention from an opposed face side with a record medium.

[Drawing 13] It is a mimetic diagram for explaining the measuring method of the micro truck profile method.

[Drawing 14] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 12 , and is process drawing showing a cascade screen formation process and a resist formation process.

[Drawing 15] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 12 , and is process drawing showing a layered product formation process.

[Drawing 16] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 12 , and is process drawing showing a bias layer formation process.

[Drawing 17] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 12 , and is process drawing showing a bias layer formation process.

[Drawing 18] It is drawing for explaining the manufacture approach of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 12 , and is process drawing showing a lead connection formation process.

[Drawing 19] It is drawing for explaining other manufacture approaches of the spin bulb mold thin film magnetic cell shown in drawing 12 , and is process drawing showing a lead layer formation process.

[Drawing 20] It is the perspective view having shown an example of the thin film magnetic head of this invention.

[Drawing 21] It is the sectional view having shown the magnetic-core section of the thin film magnetic head shown in drawing 20 .

[Drawing 22] It is the outline perspective view having shown the thin film magnetic head shown in drawing 21 .

[Drawing 23] It is the mimetic diagram showing the measuring method of the sensibility field and insensible field which are occupied to the layered product of a spin bulb mold thin film magnetic cell.

[Drawing 24] It is the sectional view having shown the structure at the time of seeing an example of the conventional spin bulb mold thin film magnetic cell from an opposed face side with a record medium.

[Drawing 25] It is the graph which showed the relation between $(Rsl/Hl)/(Rsg/Hg)$ and the effective width of recording track.

[Drawing 26] It is the graph which showed the relation between $(Rsl/Hl)/(Rsg/Hg)$ and the relative output in an off-track location.

[Drawing 27] It is the graph which investigated the relation between (Rsl/Hl) and the relative output in an off-track location.

[Drawing 28] It is the graph which investigated the relation between the electrode include angle theta and the effective width of recording track.

[Drawing 29] It is the graph which showed the micro truck profile of an example 1.

[Drawing 30] It is the graph which showed the micro truck profile of an example 13.

[Drawing 31] It is the graph which showed the micro truck profile of the conventional example 1.

[Description of Notations]

1 Spin Bulb Mold Thin Film Magnetic Cell

4 1st Antiferromagnetism Layer

5 1st Fixed Magnetic Layer

5a The 1st strong magnetic pinned layer (strong magnetic pinned layer)

5b The 1st nonmagnetic interlayer (nonmagnetic interlayer)

5c The 2nd strong magnetic pinned layer (strong magnetic pinned layer)

6 1st Nonmagnetic Conductive Layer

8 2nd Nonmagnetic Conductive Layer

9 2nd Fixed Magnetic Layer

9a The 3rd strong magnetic pinned layer (strong magnetic pinned layer)

9b The 2nd nonmagnetic interlayer (nonmagnetic interlayer)
9c The 4th strong magnetic pinned layer (strong magnetic pinned layer)
36 2nd Antiferromagnetism Layer
10, 30, 40 Substrate
11 41 Antiferromagnetism layer
12A, 42A 1st fixed magnetic layer
12B, 42B Nonmagnetic interlayer
12C, 42C 2nd fixed magnetic layer
13 43 Nonmagnetic conductive layer
7, 14, 44 Free magnetic layer
44A The 2nd free magnetic layer
44B Nonmagnetic interlayer
44C The 1st free magnetic layer
15, 36, 45 Protective layer
16, 38, 46 Layered product
17, 32, 47 Hard bias layer
18, 34, 48 Electrode layer (lead layer)
18a, 34a, 48a Overlay section
19, 33, 49 Interlayer
74 76 Target
B1 BAKKUDO layer (mean free path extension layer)
S1 Specular reflection layer (mean free path extension layer)

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-76472

(P2002-76472A)

(43) 公開日 平成14年3月15日 (2002.3.15)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターム(参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		G 1 1 B 5/39	5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/32		H 0 1 F 10/32	

審査請求 有 請求項の数10 O L (全 37 頁)

(21) 出願番号 特願2000-264581(P2000-264581)

(22) 出願日 平成12年8月31日 (2000.8.31)

(71) 出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 長谷川 直也

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外6名)

Fターム(参考) 5D034 BA04 BA05 BA08 BA12 BB08

BB12 CA05 CA08 DA07

5E049 AA04 AA07 AA09 AC05 BA12

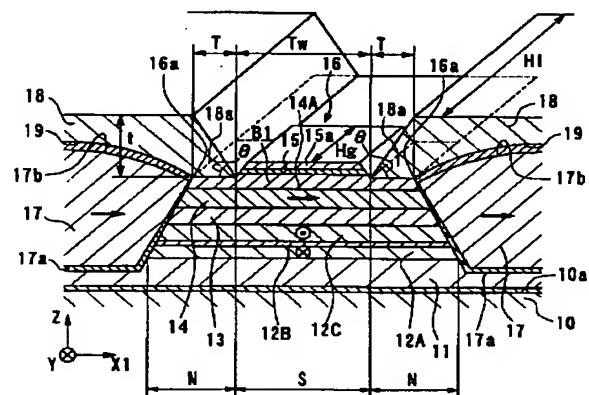
CB02 DB12

(54) 【発明の名称】 スピンバルブ型薄膜磁気素子およびこのスピンバルブ型薄膜磁気素子を備えた薄膜磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 スピンバルブ型薄膜磁気素子の出力特性の向上と、サイドリーディング発生の防止を図る。

【解決手段】 積層体16と、バイアス層17と、オーバーレイ部18aを備えた電極層18とを有し、電極層18において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さをH1、電極層18のシート抵抗値をR_{s1}、積層体16の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さをH_g、積層体16のシート抵抗値をR_{sg}としたとき、 $(R_{s1}/H1)/(R_{sg}/H_g) \leq 0.02$ で示される関係を有するスピンバルブ型薄膜磁気素子とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に、反強磁性層と、前記反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換結合磁界により磁化方向が固定される固定磁性層と、前記固定磁性層に非磁性導電層を介して形成され、前記固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ磁化方向が揃えられたフリー磁性層とが少なくとも積層された積層体と、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ揃えるためのバイアス層と、前記積層体の両側から中央部分に向けて前記積層体の表面側に延出するオーバーレイ部を備え、前記積層体に検出電流を供給する一対の電極層とを有し、前記電極層において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さを H_1 、前記電極層のシート抵抗値を R_{s1} 、前記積層体において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さを H_g 、前記積層体のシート抵抗値を R_{sg} としたとき、下記一般式で示される関係を有することを特徴とするスピナバルブ型薄膜磁気素子。

$$(R_{s1}/H_1)/(R_{sg}/H_g) \leq 0.02$$

【請求項 2】 前記 H_1 と、前記 R_{s1} と、前記 H_g と、前記 R_{sg} との関係において、下記一般式で示される関係を有することを特徴とする請求項 1 記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

$$(R_{s1}/H_1)/(R_{sg}/H_g) \leq 0.01$$

【請求項 3】 基板上に、反強磁性層と、前記反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換結合磁界により磁化方向が固定される固定磁性層と、前記固定磁性層に非磁性導電層を介して形成され、前記固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ磁化方向が揃えられたフリー磁性層とが少なくとも積層された積層体と、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ揃えるためのバイアス層と、前記積層体の両側から中央部分に向けて前記積層体の表面側に延出するオーバーレイ部を備え、前記積層体に検出電流を供給する一対の電極層とを有し、前記電極層において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さを H_1 、前記電極層のシート抵抗値を R_{s1} 、前記積層体において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さ H_g を $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲、前記積層体のシート抵抗値 R_{sg} を $15 \sim 25 \Omega/\square$ の範囲としたとき、下記一般式で示される関係を有することを特徴とするスピナバルブ型薄膜磁気素子。

$$(R_{s1}/H_1) \leq 1 \Omega/\mu\text{m}$$

【請求項 4】 前記 H_1 と、前記 R_{s1} との関係において、前記 H_g を $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲、前記 R_{sg} を $15 \sim 25 \Omega/\square$ の範囲としたとき、下記一般式で

示される関係を有することを特徴とする請求項 3 記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

$$(R_{s1}/H_1) \leq 0.5 \Omega/\mu\text{m}$$

【請求項 5】 前記電極層の前記オーバーレイ部表面と前記積層体表面とのなす角が、 $45^\circ \sim 70^\circ$ の範囲とされていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 6】 前記フリー磁性層の厚さ方向両側に、各々非磁性導電層と固定磁性層と反強磁性層とが形成されたデュアル型構造とされてなることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 7】 伝導電子の平均自由行程を延長するための平均自由行程延長層が形成されたことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 8】 前記固定磁性層と前記フリー磁性層との少なくとも一方が、非磁性中間層を介して 2 つに分断され、分断された層どうして磁化の向きが 180° 異なるフェリ磁性状態とされてなることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 7 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 9】 前記反強磁性層は、Pt、Pd、Rh、Ru、Ir、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Kr のうちの少なくとも 1 種または 2 種以上の元素と、Mn とを含む合金からなることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 8 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項 10】 請求項 1 ないし請求項 9 のいずれかに記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子を備えたことを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、固定磁性層（ピン（Pinned）磁性層）の固定磁化方向と外部磁界の影響を受けるフリー（Free）磁性層の磁化方向との関係で電気抵抗が変化するスピナバルブ型薄膜磁気素子およびこのスピナバルブ型薄膜磁気素子を備えた薄膜磁気ヘッドに関し、特に、積層体の両側から中央部分に向けて前記積層体の表面に延出するオーバーレイ部を備えた電極層を有するスピナバルブ型薄膜磁気素子に用いて好適な技術に関する。

【0002】

【従来の技術】スピナバルブ型薄膜磁気素子は、巨大磁気抵抗効果を示す GMR（Giant Magnetoresistive）素子の一種であり、ハードディスクなどの記録媒体から記録磁界を検出するものである。前記スピナバルブ型薄膜磁気素子は、GMR 素子の中で比較的構造が単純で、しかも、外部磁界に対して抵抗変化率が高く、弱い磁界で抵抗が変化するなどの優れた点を有している。

【0003】図24は、従来のスピンバルブ型薄膜磁気素子の一例を記録媒体との対向面（ABS面）側から見た場合の構造を示した断面図である。図24に示すスピンバルブ型薄膜磁気素子は、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層、フリー磁性層が一層ずつ形成された、いわゆるボトム型のシングルスピンバルブ型薄膜素子である。このスピンバルブ型薄膜素子では、ハードディスクなどの磁気記録媒体の移動方向は、図示Z方向であり、磁気記録媒体からの洩れ磁界の方向は、Y方向である。

【0004】図24における従来のスピンバルブ型薄膜素子は、基板上に、下から下地層106、反強磁性層101、固定磁性層（ピン（Pinned）磁性層）102、非磁性導電層103、フリー（Free）磁性層104、および保護層107で構成された積層体109と、この積層体109の両側に形成された一対のハードバイアス層105、105と、このハードバイアス層105、105の上に形成された一対の電極層108、108とで構成されている。また、電極層108、108は、積層体109の両側から中央部分に向けて前記積層体109の表面に延出するオーバーレイ部108a、108aを有している。下地層106は、Ta（タンタル）などからなり、反強磁性層101が、NiO合金、FeMn合金、NiMn合金などから形成されている。さらに、前記固定磁性層102およびフリー磁性層104は、Co、NiFe合金などから形成され、非磁性導電層103にはCu（銅）膜が適応され、また、ハードバイアス層105、105が、Co-Pt（コバルト-白金）合金で形成され、電極層108、108がCuなどで形成されている。

【0005】前記固定磁性層102は、前記反強磁性層101に接して形成されることにより、前記固定磁性層102と反強磁性層101との界面にて交換結合磁界（交換異方性磁界）が発生し、前記固定磁性層102の固定磁化は、例えば、図示Y方向に固定されている。前記ハードバイアス層105、105が図示X1方向に磁化されていることで、前記フリー磁性層104の変動磁化が図示X1方向に揃えられている。これにより、前記フリー磁性層104の変動磁化と前記固定磁性層102の固定磁化とが交差する関係となっている。

【0006】このスピンバルブ型薄膜磁気素子では、ハードバイアス層105の上に形成された電極層108から、固定磁性層102、非磁性導電層103、フリー（Free）磁性層104、に検出電流（センス電流）が与えられる。ハードディスクなどの磁気記録媒体の移動方向は、図示Z方向であり、磁気記録媒体からの洩れ磁界がY方向に与えられると、フリー磁性層104の磁化がX1方向からY方向へ向けて変化する。このフリー磁性層104内での磁化の方向の変動と、固定磁性層102の固定磁化方向との関係で電気抵抗値が変化し（これを磁気抵抗（MR）効果という）、この電気抵抗値の変化

に基づく電圧変化により、磁気記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0007】また、このスピンバルブ型薄膜素子は、図24に示すように、電極層108、108が積層体109の上側に延出したオーバーレイ部108a、108aを有している。したがって、電極層108から、固定磁性層102、非磁性導電層103、フリー（Free）磁性層104に検出電流であるセンス電流を与えた場合、センス電流Jの大部分が電極層108のオーバーレイ部108a先端から積層体109に流入するようになっている。このため、フリー磁性層104中に、センス電流Jの大部分が流れる中央部分104aと、センス電流Jのほとんど流れない両側部分（電極オーバーレイ部）104b、104bとが発生する。

【0008】このスピンバルブ型薄膜磁気素子では、電極層108のオーバーレイ部108a、108a間に位置する積層体109の中央部分が、実質的に磁気記録媒体からの記録磁界の再生に寄与し、磁気抵抗効果を発揮する感度領域となっている。また、オーバーレイ部108a、108aの下側に位置する積層体109の両側部分が、実質的に磁気記録媒体からの記録磁界の再生に寄与しない不感領域となっている。このように、電極層108にオーバーレイ部108a、108aを設けることにより、感度領域と不感領域とが形成される。そして、この感度領域の幅がスピンバルブ型薄膜磁気素子のトラック幅Twとなる。このため、電極層108にオーバーレイ部108a、108aを設けることにより、トラック幅Twを狭くすることができ、記録密度の高密度化を目的とした狭トラック化に対応することが可能となる。

【0009】しかしながら、例えば、電極層108、108の厚さが薄くて比抵抗が大きい場合や、電極層108、108と積層体109との接合部分における接合抵抗が大きい場合には、オーバーレイ部108aから流れ込むセンス電流Jが大きな抵抗を受け、ハードバイアス層105を経由して流れ込むセンス電流Jの分流J'が無視できない大きくなってしまふ。この結果、積層体109のオーバーレイ部108a、108aの下方に位置する図24に符号Dで示す領域に、センス電流Jが流れるようになる。この不感領域であるべき領域Dにセンス電流Jが流れると、領域Dに外部磁界に対する磁気抵抗変化に基づく電圧変化が発現し、この領域Dに対応する磁気記録媒体の記録トラックの信号を再生してしまふ。とくに、磁気記録媒体における記録密度の高密度化を目的とした狭トラック化を図った場合、本来感度領域で読み出すべき磁気記録トラックに対して、隣接する磁気記録トラックの情報を上記の領域Dにおいて読み出してしまふというサイドリーディングが発生し、これが出力信号に対してノイズとなり、エラーを招く可能性があった。

【0010】さらに、根本的に、スピンバルブ型薄膜磁

気素子におけるより一層の出力特性の向上と感度の向上を図りたいという要求が存在していた。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、以下の目的を達成しようとするものである。

① スピンバルブ型薄膜素子における出力特性の向上を図ること。

② サイドリーディング発生の防止を図ること。

③ 上記のようなスピンバルブ型薄膜磁気素子を備えた薄膜磁気ヘッドを提供すること。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明は以下の構成を採用した。本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子は、基板上に、反強磁性層と、前記反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換結合磁界により磁化方向が固定される固定磁性層と、前記固定磁性層に非磁性導電層を介して形成され、前記固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ磁化方向が揃えられたフリー磁性層とが少なくとも積層された積層体と、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ揃えるためのバイアス層と、前記積層体の両側から中央部分に向けて前記積層体の表面側に延出するオーバーレイ部を備え、前記積層体に検出電流を供給する一対の電極層とを有し、前記電極層において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さをH1、前記電極層のシート抵抗値をRs1、前記積層体において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さをHg、前記積層体のシート抵抗値をRs2としたとき、下記一般式で示される関係を有することを特徴とする。

$$(Rs1/H1)/(Rs2/Hg) \leq 0.02$$

【0013】このようなスピンバルブ型薄膜磁気素子は、前記積層体の両側から中央部分に向けて前記積層体の表面に延出するオーバーレイ部を備えた電極層を有しているので、積層体の中央部分は感度領域とされ、オーバーレイ部の下側に位置する積層体の両側部分は不感領域とされるため、感度領域の幅をトラック幅とすることができる。したがって、トラック幅を狭くすることができ、記録密度の高密度化を目的とした狭トラック化に対応することが可能となる。

【0014】しかも、上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子は、前記電極層において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さをH1、前記電極層のシート抵抗値をRs1、前記積層体の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さをHg、前記積層体のシート抵抗値をRs2としたとき、 $(Rs1/H1)/(Rs2/Hg) \leq 0.02$ で示される関係を有するもので

あるので、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗を低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流を少なくすることができる。その結果、積層体のオーバーレイ部の下方に位置する不感領域に流れるセンス電流が少なくなり、不感領域での電圧変化が発現しなくなるので、スピンバルブ型薄膜磁気素子のサイドリーディングを防止することが可能となる。また、センス電流の分流を少なくすることができ、センス電流を、積層体の中央部分に位置する感度領域に集中させることができるので、感度領域における電圧変化が向上し、スピンバルブ型薄膜磁気素子の出力特性を向上させることが可能となる。

【0015】なお、積層体の感度領域は、マイクロトラックプロファイル法によりその範囲を決めることができる。即ち、「感度領域」とは、ある信号が記録された微小トラック上にスピンバルブ型薄膜磁気素子を走査させた場合に得られる再生信号のうち、最大の信号強度の50%以上の信号強度が得られた領域と定義される。また、積層体の「不感領域」は、前記感度領域の両側であって、信号強度が最大の信号強度の50%以下となる領域として定義される。

【0016】また、上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、前記H1と、前記Rs1と、前記Hgと、前記Rs2との関係において、下記一般式で示される関係を有することが望ましい。

$$(Rs1/H1)/(Rs2/Hg) \leq 0.01$$

このようなスピンバルブ型薄膜磁気素子とすることで、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗をより一層低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。このことにより、スピンバルブ型薄膜磁気素子のサイドリーディングをより一層効果的に防止することができるものとなる。また、感度領域における電圧変化がより一層向上し、スピンバルブ型薄膜磁気素子の出力特性をより一層向上させることが可能となる。

【0017】また、本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子は、基板上に、反強磁性層と、前記反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換結合磁界により磁化方向が固定される固定磁性層と、前記固定磁性層に非磁性導電層を介して形成され、前記固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ磁化方向が揃えられたフリー磁性層とが少なくとも積層された積層体と、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向と交差する方向へ揃えるためのバイアス層と、前記積層体の両側から中央部分に向けて前記積層体の表面側に延出するオーバーレイ部を備え、前記積層体に検出電流を供給する一対の電極層とを有し、前記電極層において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さをH1、前記電極層のシート抵抗値をRs1、前記積層体において磁気記録媒体との対向面から内部方向に向か

って垂直方向に延出する長さ H_g を $0.2 \sim 0.5 \mu m$ の範囲、前記積層体のシート抵抗値 R_{sg} を $15 \sim 25 \Omega/\square$ の範囲としたとき、下記一般式で示される関係を有することを特徴とする。

$$(R_{s1}/H1) \leq 1 \Omega/\mu m$$

【0018】このようなスピンバルブ型薄膜磁気素子とすることで、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗を低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流を少なくすることができる。その結果、積層体のオーバーレイ部の下方に位置する不感領域に流れるセンス電流が少なくなり、不感領域での電圧変化が発現しなくなるので、スピンバルブ型薄膜磁気素子のサイドリーディングを防止することが可能となる。また、センス電流の分流を少なくすることができ、センス電流を、積層体の中央部分に位置する感度領域に集中させることができるので、感度領域における電圧変化が向上し、スピンバルブ型薄膜磁気素子の出力特性を向上させることが可能となる。

【0019】上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、前記 $H1$ と、前記 R_{s1} との関係において、前記 H_g を $0.2 \sim 0.5 \mu m$ の範囲、前記 R_{sg} を $15 \sim 25 \Omega/\square$ の範囲としたとき、下記一般式で示される関係を有することが望ましい。

$$(R_{s1}/H1) \leq 0.5 \Omega/\mu m$$

このようなスピンバルブ型薄膜磁気素子とすることで、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗をより一層低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。このことにより、スピンバルブ型薄膜磁気素子のサイドリーディングをより一層効果的に防止することができるものとなる。また、感度領域における電圧変化がより一層向上し、スピンバルブ型薄膜磁気素子の出力特性をより一層向上させることが可能となる。

【0020】さらに、上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、前記電極層の前記オーバーレイ部表面と前記積層体表面とのなす角が、 $45^\circ \sim 70^\circ$ の範囲とされていることが望ましい。このようなスピンバルブ型薄膜磁気素子とすることで、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗をより一層低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。このことにより、スピンバルブ型薄膜磁気素子のサイドリーディングをより一層効果的に防止することができるものとなる。また、感度領域における電圧変化がより一層向上し、スピンバルブ型薄膜磁気素子の出力特性をより一層向上させることが可能となる。

【0021】上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、前記フリー磁性層の厚さ方向両側に、各々非磁性導電層と固定磁性層と反強磁性層とが形成されたデュアル型構造とされてなるものとしてもよい。このようなス

ピンバルブ型薄膜素子とすることで、フリー磁性層／非磁性導電層／固定磁性層の3層の組み合わせを2組有するものとなり、シングルスピンバルブ型薄膜磁気素子と比較して、大きな $\Delta R/R$ （抵抗変化率）が得られ、高密度記録化に対応できるものとすることができる。

【0022】上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、伝導電子の平均自由行程を延長するための平均自由行程延長層が形成されたものであることが望ましい。ここでの「平均自由行程延長層」とは、バックド層と鏡面反射層との少なくとも一方のことをいう。

【0023】上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、前記平均自由行程延長層として、バックド層を設けることにより、後述するように、磁気抵抗効果に寄与する＋スピン（上向きスピン：up spin）の伝導電子における平均自由行程（mean free path）をのばすことができ、いわゆるスピンフィルター効果（spin filter effect）によって大きな $\Delta R/R$ （抵抗変化率）が得られ、高密度記録化に対応できるものとすることができる。また、上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、前記平均自由行程延長層として、鏡面反射層を設けることにより、後述するように、鏡面反射効果（specular effect）により抵抗変化率を向上することができる。

【0024】ここで、上記のバックド層および鏡面反射層によって磁気抵抗変化率が高くなる理由を簡単に述べる。この説明に先だって、スピンバルブ型薄膜磁気素子の巨大磁気抵抗効果の原理を簡単に説明する。ここでは、フリー磁性層の非磁性導電層に接しない位置にバックド層または鏡面反射層を配置した状態を例にして説明する。スピンバルブ型薄膜磁気素子にセンス電流を印加したときには、伝導電子が主に電気抵抗の小さい非磁性導電層付近を移動する。この伝導電子には、アップスピン（＋スピン、上向きスピン：up spin）とダウンスピン（－スピン、下向きスピン：down spin）の2種類の伝導電子が確率的に等量存在する。スピンバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率は、これら2種類の伝導電子の平均自由行程（mean free path）の行程差に対して正の相関を示す。

【0025】ダウンスピンの伝導電子については、印加される外部磁界の向きにかかわらず、非磁性導電層とフリー磁性層との界面で常に散乱され、フリー磁性層に移動する確率は低いまま維持される。このため、平均自由行程は、アップスピンの伝導電子の平均自由行程と比べて短いままである。一方、アップスピンの伝導電子については、外部磁界によってフリー磁性層の磁化方向が固定磁性層の磁化方向と平行状態となったときに、非磁性導電層からフリー磁性層に移動する確率が高くなり、平均自由行程が長くなっている。そして、外部磁界によってフリー磁性層の磁化方向が固定磁性層の磁化方向に対して平行な状態から変化するに従って、非磁性導電層と

フリー磁性層との界面で散乱される確率が増加し、平均自由行程が短くなっている。このように、アップスピンの伝導電子の平均自由行程は、ダウンスピンの伝導電子の平均自由行程と比較して、外部磁界の作用によって大きく変化する。また、アップスピンの伝導電子の平均自由行程の行程差が大きく変化するることによって、抵抗率が変化し、スピンバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率($\Delta R/R$)が大きくなる。

【0026】ここで、フリー磁性層にバック層を接続すると、フリー磁性層中を移動するアップスピンの伝導電子がバック層内にまで移動することが可能となり、バック層の膜厚に比例してアップスピンの伝導電子の平均自由行程をさらに延ばすことができる。このため、いわゆるスピンフィルター効果を発現させることが可能となり、伝導電子の平均自由行程の行程差が大きくなって、スピンバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率($\Delta R/R$)をより向上させることができる。

【0027】また、フリー磁性層の前記非磁性導電層に接しない位置に鏡面反射層を積層すると、この鏡面反射層はフリー磁性層との界面においてポテンシャル障壁を形成し、フリー磁性層中を移動するアップスピンの伝導電子を、そのスピンの状態を保存させたまま反射させることができ、アップスピンの伝導電子を鏡面反射することが可能となる。したがって、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を延ばすことができる。このため、いわゆる鏡面反射効果(specular effect)を発現させることが可能となり、スピンの依存した伝導電子における平均自由行程の行程差がさらに大きくなって、スピンバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率をより向上させることができる。

【0028】さらに、フリー磁性層に接続されたバック層の前記フリー磁性層と接する面の反対側に鏡面反射層を積層すると、スピンフィルター効果によりアップスピンの伝導電子の平均自由行程が大きくなるとともに、鏡面反射層とバック層との界面において形成されたポテンシャル障壁によって、いわゆる鏡面反射効果(specular effect)を発現させ、アップスピンの伝導電子のスピンの状態を保存して反射させることで、このアップスピンの伝導電子の平均自由行程をさらに延ばすことができる。したがって、スピンの依存した伝導電子における平均自由行程の行程差をより一層大きくすることができ、スピンバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率をより一層向上させることが可能となる。

【0029】また、上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、前記固定磁性層と前記フリー磁性層との少なくとも一方が、非磁性中間層を介して2つに分断され、分断された層どうして磁化の向きが180°異なるフェリ磁性状態とされてなるものとしてもよい。少なくとも固定磁性層が非磁性中間層を介して2つに分断されたスピンバルブ型薄膜素子とした場合、2つに分断され

た固定磁性層のうち一方が他方の固定磁性層を適正な方向に固定する役割を担い、固定磁性層の状態を非常に安定した状態に保つことが可能となる。一方、少なくともフリー磁性層が非磁性中間層を介して2つに分断されたスピンバルブ型薄膜素子とした場合、2つに分断されたフリー磁性層どうしの間に交換結合磁界が発生し、フェリ磁性状態とされ、外部磁界に対して感度よく反転できるものとなる。

【0030】また、上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、前記反強磁性層は、Pt、Pd、Rh、Ru、Ir、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素と、Mnとを含む合金からなることが望ましい。このようなスピンバルブ型薄膜素子とすることで、交換結合磁界が高く、耐食性に優れ、比較的高い温度でも充分な交換結合磁界を発現する反強磁性層となるので、スピンバルブ型薄膜磁気素子の動作を安定化させることが可能になり、特に比較的高温下での動作を安定化させることが可能になる。

【0031】前記課題は、上記のいずれかに記載のスピンバルブ型薄膜磁気素子を備えたことを特徴とする薄膜磁気ヘッドによって解決できる。このような薄膜磁気ヘッドは、先に記載のスピンバルブ型薄膜磁気素子を備えたものであるので、磁気情報の再生出力が高く、サイドリーディング発生の確率が低い薄膜磁気ヘッドとすることができる。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るスピンバルブ型薄膜磁気素子およびその製造方法、およびこのスピンバルブ型薄膜磁気素子を備えた薄膜磁気ヘッドを図面に基いて詳しく説明する。

【第1実施形態】図1は、本発明の第1実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子を記録媒体との対向面側から見た場合の構造を示した断面図である。本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子は、巨大磁気抵抗効果を利用したGMR(giant magnetoresistive)素子の一種である。このスピンバルブ型薄膜磁気素子は、後述するように、ハードディスク装置に設けられた浮上式スライダーのトレーリング側端部などに設けられて、ハードディスクなどの磁気記録媒体の移動方向は、図においてZ方向であり、磁気記録媒体からの漏れ磁界方向は、Y方向である。

【0033】本発明の第1の実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子は、基板側から反強磁性層、2層の固定磁性層、非磁性導電層、フリー磁性層の順で積層されて形成されたボトム型(Bottom type)であり、さらに、固定磁性層が、第1の固定磁性層と、前記第1の固定磁性層に非磁性中間層を介して形成され、前記第1の固定磁性層の磁化方向と反平行に磁化方向が揃えられた第2の

固定磁性層とを有し、固定磁性層が合成フェリ磁性状態とされてなる手段、いわゆる、シンセティックフェリピンド型 (synthetic-ferri-pinned type) とされるシングルスピナルブ型薄膜磁気素子の一種である。また、バイアス層として、ハードバイアス層が設けられているものである。

【0034】図1において、符号10は、基板を示している。この基板10の上には、下地層10aが設けられ、下地層10aの上には、反強磁性層11が形成され、さらに、反強磁性層11の上には、固定磁性層12A、12B、12Cが形成されている。この固定磁性層12A、12B、12Cは、第1の固定磁性層12Aと、前記第1の固定磁性層12Aの上に非磁性中間層12Bを介して形成され、前記第1の固定磁性層12Aの磁化方向と反平行に磁化方向が揃えられた第2の固定磁性層12Cとからなる。この第2の固定磁性層12Cの上には、Cu (銅) 等からなる非磁性導電層13が形成され、さらに、前記非磁性導電層13の上には、フリー磁性層14が形成されている。前記フリー磁性層14の上には、平均自由行程延長層として設けられたバックド層B1が形成され、前記バックド層B1の上には、Taなどでからなる保護層15が形成され、この保護層15の上側には、酸化タンタル (Ta-Oxide) からなる酸化層15aが形成されている。

【0035】そして、図1に示すように、反強磁性層11の一部から酸化層15aまでの各層により、略台形状の断面形状を有する積層体16が構成されている。この積層体16における磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さHgは、0.2~0.5μmの範囲とするのが好ましい。また、積層体16のシート抵抗値Rsgは、15~25Ω/□の範囲とするのが好ましい。

【0036】また、符号17、17は、ハードバイアス層を、符号18、18は、電極層を示している。これら、ハードバイアス層17、17は、図1に示す積層体16の両側位置 (トラック幅方向両側) に張り出している反強磁性層11上にバイアス下地層17aを介して形成されている。このハードバイアス層17、17上には、TaまたはCrからなる中間層19を介して電極層18、18が形成されている。

【0037】図1に示すように、反強磁性層11が下側に位置するボトムタイプ (Bottom type) のスピナルブ型薄膜磁気素子は、積層体16に与えられるセンス電流に対する反強磁性層11の比抵抗が大きいことによって生じる抵抗を少なくすることができ、センス電流の分流の割合を少なくすることができる。このため、サイドリーディングを防止することができ、磁気記録密度の高密度化により一層対応することが可能となる。さらに、後述するように、電極層18、18のオーバーレイ部18a、18aを露出したバックド層B1に接触すること

で、さらに接触抵抗を減らすことができ、ハードバイアス層17から積層体16下側に流れ込むセンス電流の分流の成分をさらに低減することができる。

【0038】さらに詳細に説明すると、本発明の第1の実施形態のスピナルブ型薄膜磁気素子では、前記下地層10aは、Taなどから形成されることが好ましい。また、前記反強磁性層11は、積層体19の中央部分において、80~110オングストローム程度の厚さとされ、PtMn合金で形成されることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界 (交換異方性磁界) も大きい。また、前記PtMn合金に代えて、X-Mn (ただし、Xは、Pd、Ru、Ir、Rh、Osのうちから選択される1種の元素を示す。) の式で示される合金、あるいは、X'-Pt-Mn (ただし、X'は、Pd、Ru、Ir、Rh、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのうちから選択される1種または2種以上の元素を示す。) の式で示される合金で形成されていてもよい。

【0039】また、前記PtMn合金および前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37~63原子%の範囲であることが望ましい。より好ましくは、47~57原子%の範囲である。さらにまた、X'-Pt-Mnの式で示される合金において、X'+Ptが37~63原子%の範囲であることが望ましい。より好ましくは、47~57原子%の範囲である。さらに、前記X'-Pt-Mnの式で示される合金としては、X'が0.2~10原子%の範囲であることが望ましい。ただし、X'がPd、Ru、Ir、Rh、Osの1種以上の場合、X'は0.2~40原子%の範囲であることが望ましい。前記反強磁性層11として、上記した適正な組成範囲の合金を使用し、これをアニール処理することで、大きな交換結合磁界を発生する反強磁性層11を得ることができる。とくに、PtMn合金であれば、800 (Oe) を越える交換結合磁界を有し、前記交換結合磁界を失うブロッキング温度が380℃と極めて高い優れた反強磁性層11を得ることができる。ここで、1 (Oe) エルステッド=80A/mである。

【0040】第1および第2の固定磁性層12A、12Cは、強磁性体の薄膜からなり、例えば、Co、NiFe合金、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などで形成され、10~30オングストローム程度の厚さとされることが好ましい。第1の固定磁性層12Aは、例えばCoからなりその膜厚が13~15オングストロームに設定される。また、第2の固定磁性層12Cは、例えばCoからなりその膜厚が20~25オングストロームに設定される。また、前記非磁性中間層12Bは、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好まし

く、通常、8オングストローム程度の厚さに形成されている。

【0041】第1の固定磁性層12Aは、反強磁性層11に接して形成され、磁場中アニール（熱処理）を施すことにより、前記第1の固定磁性層12Aと反強磁性層11との界面にて交換結合磁界（交換異方性磁界）が発生し、例えば図1に示すように、前記第1の固定磁性層12Aの磁化が、図示Y方向に固定される。前記第1の固定磁性層12Aの磁化が、図示Y方向に固定されると、非磁性中間層12Bを介して対向する第2の固定磁性層12Cの磁化は、第1の固定磁性層12Aの磁化と反平行の状態、つまり、図示Y方向と逆方向に固定される。

【0042】交換結合磁界は、大きいほど第1の固定磁性層12Aの磁化と第2の固定磁性層12Cの磁化を安定して反平行状態に保つことが可能である。特に、反強磁性層11として、ブロッキング温度が高く、しかも第1の固定磁性層12Aとの界面で大きい交換結合磁界（交換異方性磁界）を発生させるPtMn合金を使用することで、前記第1の固定磁性層12Aおよび第2の固定磁性層12Cの磁化状態を熱的にも安定して保つことができる。

【0043】本実施形態では、第1の固定磁性層12Aと第2の固定磁性層12Cとの膜厚比を適正な範囲内に収めることによって、交換結合磁界（Hex）を大きくでき、第1の固定磁性層12Aと第2の固定磁性層12Cとの磁化を、熱的にも安定した反平行状態（フェリ状態）に保つことができ、しかも、 $\Delta R/R$ （抵抗変化率）を従来と同程度に確保することが可能である。さらに、熱処理中の磁場の大きさおよびその方向を適正に制御することによって、第1の固定磁性層12Aおよび第2の固定磁性層12Cの磁化方向を、所望の方向に制御することが可能になる。

【0044】非磁性導電層13は、Cu（銅）等からなり、その膜厚は、20～25オングストロームに設定される。前記フリー磁性層14は、通常、20～50オングストローム程度の厚さとされ、第1の固定磁性層12Aおよび第2の固定磁性層12Cと同様の材質などで形成されることが好ましい。バックド層B1は、Cu等の金属材料や、非磁性導電材料からなり、Au、Ag、Cuからなる群から選択された材料から構成されることができ、例えばその膜厚が12～20オングストロームに設定される。保護層15は、Taからなり、その表面が、酸化された酸化層15aとされている。また、この保護層15は、トラック幅方向（図1においてX1方向）両端側が積層体16上面よりも短くなるよう形成されており、積層体16上面の両端においては、バックド層B1が露出した状態とされている。

【0045】バイアス下地層17aは、緩衝膜および配向膜であり、Crなどで形成されることが好ましく、例

えば、20～50オングストローム程度、好ましくは35オングストローム程度の厚さとされる。また、中間層19は、例えばTaからなり50オングストローム程度の膜厚とされる。これらバイアス下地層17aおよび中間層19は、後工程のインダクティブヘッド（書込ヘッド）の製造プロセスでおこなう絶縁レジストの硬化工程（UVキュアまたはハードベーク）等で高温に曝される場合に、拡散バリアーとして機能して、ハードバイアス層17、17と周辺層との間で熱拡散させることにより、ハードバイアス層17、17の磁気特性が劣化することを防止することができる。

【0046】前記ハードバイアス層17、17は、通常、200～500オングストローム程度の厚さとされ、例えば、Co-Pt合金やCo-Cr-Pt合金やCo-Cr-Ta（コバルトクロムタンタル）合金などで形成されることが好ましい。また、前記ハードバイアス層17、17が、図示X1方向に磁化されていることで、前記フリー磁性層14の磁化が、図示X1方向に揃えられている。これにより、前記フリー磁性層14の変動磁化方向と前記第2の固定磁性層12Cの固定磁化方向とが90度で交差する関係となっている。

【0047】前記ハードバイアス層17、17は、前記フリー磁性層14と同じ階層位置に配置され、前記フリー磁性層14の膜厚方向に前記フリー磁性層14の膜厚よりも大きな膜厚とされることが好ましい。また、前記ハードバイアス層17、17の上面17b、17bは、フリー磁性層14の上面14aよりも基板10から離れた位置に（すなわち、図1では上側に）配置され、前記ハードバイアス層17、17の下面は、前記フリー磁性層14の下面よりも基板10側の位置に（すなわち、図1では下側に）配置されている。

【0048】また、前記ハードバイアス層17、17の上面17b、17bと前記積層体16の側面との接合点は、積層体16の側面の上端16a、16aより基板10側の位置（すなわち、図1では下側）で、かつ、積層体16から離間した位置における前記ハードバイアス層17、17の最上位置（図1の例では、ハードバイアス層17、17の上面17b、17bの両側端）より下側の位置とされることが好ましい。これにより、ハードバイアス層17、17からフリー磁性層14に作用する磁界におけるフラックスコントロール、つまり、積層体16上部に位置する上部シールド層等に、ハードバイアス層17、17からの漏れ磁束が吸収されることによってフリー磁性層14に加わる有効磁界が減少することが起こりにくくなり、フリー磁性層14が単磁区化されやすくなるため、前記フリー磁性層14の磁区制御を良好に行うことができる。

【0049】また、電極層18、18が、Cr、Au、Ta、Wから選択される1種またはそれ以上からなる単層膜もしくはその多層膜で形成されることがにより、抵抗

値を低減することができる。ここでは、電極層18、18としてCrが選択されて、Taからなる中間層19上にエピタキシャル成長することにより形成されることにより電気抵抗値を低減することができる。

【0050】電極層18、18は、積層体16の上面において、露出しているバック層B1の上に延出してオーバーレイ部18a、18aを形成しており、このオーバーレイ部18a、18aが積層体16に被着形成されてバック層B1に接続されている。

【0051】このようにオーバーレイ部18a、18aを積層体16に被着させることにより、実質的に磁気記録媒体からの記録磁界の再生に寄与する部分（感度領域S）と、実質的に磁気記録媒体からの記録磁界の再生に寄与しない部分（不感領域N）とが形成され、感度領域Sの幅がスピナル型薄膜磁気素子の磁気的なトラック幅となり、狭トラック化に対応することが可能になる。なお、積層体16に占める感度領域Sおよび不感領域Nは、マイクロトラックプロファイル法によって測定される。

【0052】以下、マイクロトラックプロファイル法について、図23に基づいて説明する。図23に示すように、磁気抵抗効果を発揮する積層体と、その両側に形成されたハードバイアス層と、前記積層体の表面に延出するオーバーレイ部を備えた電極層とを有する本発明に係るスピナル型薄膜磁気素子を基板上に形成する。

【0053】次に、光学顕微鏡または電子顕微鏡によって、電極層が覆い被さっていない積層体の上面の幅寸法Bを測定する。この幅寸法Bは光学的方法によって測定されたトラック幅Twとして定義される。

【0054】そして、磁気記録媒体上に、微小トラックとして、所定の信号を記録しておき、スピナル型薄膜磁気素子を、この微小トラック上でトラック幅方向に走査させて積層体の幅寸法Aと、再生出力との関係を測定する。あるいは、微小トラックが形成された磁気記録媒体側を、スピナル型薄膜磁気素子上にトラック幅方向に走査させて積層体の幅寸法Aと、再生出力との関係を測定してもよい。その測定結果は、図23の下側に示されている。

【0055】この測定結果によると、積層体の中央付近では、再生出力が高くなり、前記積層体の側部付近では、再生出力が低くなることがわかる。この結果から、積層体の中央付近では、良好に磁気抵抗効果が発揮され、再生機能に関与するが、その両側部付近においては、磁気抵抗効果が悪化して再生出力が低く、再生機能が低下している。

【0056】本発明では、最大再生出力に対して50%以上の再生出力が発生する積層体上面の幅寸法Bで形成された領域を感度領域と定義し、最大再生出力に対して50%以下の再生出力しか発生しない積層体上面の幅寸法Cを有して形成された領域を不感領域として定義す

る。

【0057】図23に示すように、感度領域Sは、実質的に磁気抵抗効果を示す領域であり、この感度領域Sの幅が、磁気的なトラック幅寸法となる。また、積層体16の上面において、オーバーレイ部18a、18aの形成されていないトラック幅方向（図1ではX1方向）の寸法が、光学的なトラック幅寸法Tw（寸法B）である。図23に示すように、本実施形態では、光学的なトラック幅Tw（寸法B）と磁気的なトラック幅Sとは、ほぼ同じ寸法に設定されるか、あるいは、磁気的なトラック幅Sが、光学的なトラック幅Tw（寸法B）よりやや大きい寸法に設定されている。

【0058】これにより、電極層18、18から積層体16へ与えるセンス電流が、ハードバイアス層17、17を介して積層体16に流れにくくなり、このハードバイアス層17、17を介さずに、直接、積層体16にセンス電流を流す割合を多くできる。しかも、この場合、積層体16と電極層18、18との接合面積を増大させることにより、磁気抵抗効果に寄与しない接合抵抗を下げることができ、素子の再生特性を向上することができる。

【0059】また、図1に示す構造のスピナル型薄膜素子は、電極層18、18の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さをH1、前記電極層18、18のシート抵抗値をRs1、積層体16の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さをHg、前記積層体のシート抵抗値をRsgとしたとき、下記一般式で示される関係を有している。

$$(Rs1/H1)/(Rsg/Hg) \leq 0.02$$

$$(Rs1/H1)/(Rsg/Hg)$$
 が0.02を越える場合、電極層18、18のオーバーレイ部18a、18aから流れ込むセンス電流の比率を大きくする効果が十分に得られなくなり、サイドリーディングが発生する恐れがあるため好ましくない。また、前記H1と、前記Rs1と、前記Hgと、前記Rsgとの関係は、下記一般式で示される関係を有することがより好ましい。

$$(Rs1/H1)/(Rsg/Hg) \leq 0.01$$

【0060】また、図1に示す構造のスピナル型薄膜素子は、電極層18、18の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さをH1、電極層18、18のシート抵抗値をRs1、積層体16の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さHgを0.2～0.5μmの範囲、積層体16のシート抵抗値をRsgを15～25Ω/□の範囲としたとき、下記一般式で示される関係を有している。

$$(Rs1/H1) \leq 1\Omega/\mu m$$

$$(Rs1/H1)$$
 が1Ω/μmを越える場合、電極層18、18のオーバーレイ部18a、18aから流れ込む

センス電流の比率を大きくする効果が十分に得られなくなり、サイドリーディングが発生する恐れがあるため好ましくない。また、前記H1と、前記R s 1との関係において、前記Hgを0.2～0.5 μmの範囲、前記R s gを15～25 Ω/□の範囲としたとき、下記一般式で示される関係を有することがより好ましい。

$$(R s 1 / H 1) \leq 0.5 \Omega / \mu m$$

【0061】また、電極層18、18のオーバーレイ部18a、18a表面と積層体16表面とのなす角θは、45度～70度の範囲とされることが好ましい。この角度θが、45度よりも小さい場合、オーバーレイ部18a、18aの先端部の厚みが薄くなり、先端部のシート抵抗値R s 1が大きくなって、オーバーレイ部18a、18aから流れ込むセンス電流への抵抗が大きくなるため、サイドリーディングが発生する恐れがあるため好ましくない。一方、前記角度θが、70度よりも大きい場合、電極層上面と積層体上面との段差が急峻になりすぎ、スピンバルブ型薄膜磁気素子の上面に成膜される上部ギャップとなる絶縁膜がこの段差を覆うことが難しくなり、上部シールドとスピンバルブ型薄膜磁気素子とが電気的に短絡する恐れが生じるため好ましくない。

【0062】図1に示す構造のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、電極層18、18から積層体16にセンス電流を与えられる。磁気記録媒体から図1に示す図示Y方向に磁界が与えられると、フリー磁性層14の磁化は、図示X1方向からY方向に変動する。このときの非磁性導電層13とフリー磁性層14との界面、および、非磁性導電層13と第2の固定磁性層12Cとの界面で、いわゆるGMR効果によってスピンの依存した伝導電子の散乱が起こることにより、電気抵抗が変化し、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0063】図1に示す構造のスピンバルブ型薄膜磁気素子では、バックド層B1によって、磁気抵抗効果に寄与する+スピン（上向きスピン：up spin）の電子における平均自由行程（mean free path）をのばすことができ、いわゆるスピンフィルター効果（spin filter effect）によりスピンバルブ型薄膜素子において、大きなΔR/R（抵抗変化率）が得られ、高密度記録化に対応できるものとすることができる。

【0064】以下、スピンフィルター効果（spin filter effect）について説明する。図7は、スピンバルブ型薄膜磁気素子においてバックド層によるスピンフィルター効果への寄与を説明するための模式説明図である。図7（a）は、バックド層のないスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す断面図であり、図7（b）は、本実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す断面図である。図7（a）において、符号101ないし104は、図24に示したバックド層のない従来のスピンバルブ型薄膜磁気素子に対応するものであり、図24における固定磁性層102のかわりに、第1の固定磁性層1

02Aと非磁性中間層102Bと第2の固定磁性層102Cとを有する、いわゆる、シンセティックフェリピンド型（synthetic-ferri-pinned type）とされる。

【0065】磁性材料で観測される巨大磁気抵抗GMR効果は、主として、電子の「スピンに依存した散乱」によるもの、つまり、磁性材料、ここではフリー磁性層14の磁化方向に平行なスピン（例えば+スピン（上向きスピン：up spin））を持つ伝導電子の平均自由行程（mean free path：λ⁺）と、磁性材料の磁化方向と逆平行なスピン（例えば-スピン（下向きスピン：down spin））を持つ伝導電子の平均自由行程（λ⁻）との差を利用したものである。図7においては、up spinを持つ伝導電子を上向き矢印で示し、down spinを持つ伝導電子を下向き矢印で示している。

【0066】電子がフリー磁性層14を通り抜けようとする際において、この電子がフリー磁性層14の磁化方向に平行な+スピンを持てば自由に移動できるが、これと逆に、電子が-スピンを持った場合には、直ちに散乱されてしまう。これは、+スピンを持つ電子の平均自由行程λ⁺が、例えば、50オングストローム程度であるのに対して、-スピンを持つ電子の平均自由行程λ⁻が6オングストローム程度であり、10分の1程度と極端に小さいためである。

【0067】本実施形態においては、フリー磁性層14の膜厚は、6オングストローム程度である-スピン電子の平均自由行程λ⁻よりも大きく、50オングストローム程度である+スピン電子の平均自由行程λ⁺よりも小さく設定されている。したがって、フリー磁性層14を通り抜けようとする際において、-スピン伝導電子（少数キャリア：minority carrier）は、このフリー磁性層14によって有効にブロックされ（すなわちフィルタ・アウトされ）るが、+スピン伝導電子（多数キャリア：majority carrier）は、本質的に、このフリー磁性層14に対して透過的に移動する。

【0068】第2の固定磁性層12Cで発生する多数キャリアおよび少数キャリア、つまり、第2の固定磁性層12Cの磁化方向に対応する+スピン電子および-スピン電子は、フリー磁性層14に向かって移動し、電荷の移動、つまり、キャリアとなる。これらのキャリアは、フリー磁性層14の磁化が回転するときに、それぞれが異なった状態で散乱する、つまり、フリー磁性層14における通過状態が、それぞれ異なっているために、上記のGMRをもたらすことになる。

【0069】フリー磁性層14から第2の固定磁性層12Cに向かって移動する電子もGMRに寄与するが、第2の固定磁性層12Cからフリー磁性層14へ向かう電子と、フリー磁性層14から第2の固定磁性層12Cへ向かう電子とを平均すると同じ方向に移動するので説明を省略する。また、非磁性導電層13で発生する電子は、+スピン電子の数と-スピン電子の数とが等しいの

10

20

30

40

50

で、平均自由行程の和は変化せず、これも説明を割愛する。

【0070】第2の固定磁性層12Cで発生し、非磁性導電層13を通過する少数キャリア、つまり、スピン電子の数は、第2の固定磁性層12Cと非磁性導電層13との界面で散乱したスピン電子の数に等しい。このスピン電子は、フリー磁性層14との界面に到達する遙か以前に非磁性導電層13と第2の固定磁性層12Cとの界面付近で散乱される。したがって、このスピン電子はフリー磁性層14の磁化方向が回転しても、平均自由行程は変化せず、スピン電子の平均自由行程に比べて非常に短いままであり、GMR効果となる抵抗変化率に寄与する抵抗値変化に影響しない。このことにより、GMR効果には、スピン電子の挙動のみを考えればよい。

【0071】第2の固定磁性層12Cで発生した多数キャリア、つまり、スピン電子は、このスピン電子の平均自由行程 λ^+ より短い非磁性導電層13中を移動し、フリー磁性層14に到達する。フリー磁性層14に外部磁界が作用しておらず、フリー磁性層14の磁化方向が回転していない場合、多数キャリアは、このスピン電子がフリー磁性層14の磁化方向に平行なスピンを持っているため、このフリー磁性層14を自由に通過できる。

【0072】さらに、図7(b)に示すように、フリー磁性層14を通過したスピン電子は、バックド層B1において、このバックド層B1の材料で決定される追加平均自由行程 λ^+ を移動した後散乱する。このことは、スピン電子の平均自由行程が、バックド層B1が無い場合、図7(a)に示すように、フリー磁性層14中を移動し、その上面において散乱してしまうが、バックド層B1を設けた場合、図7(b)に示すように、追加平均自由行程 λ^+ 分、延びたことを意味する。したがって、比較的低い抵抗値(すなわち、長い平均自由行程)を有する導電材料を適用することにより、スピンバルブ型薄膜素子としての抵抗値は減少する。

【0073】一方、外部磁界を印加することにより、フリー磁性層14の磁化方向が回転すると、この磁性材料の磁化方向とスピンの向きが異なる状態となるため、スピン電子がフリー磁性層14中で散乱することになり、有効平均自由行程が急激に減少する。つまり、抵抗値が増大する。したがって、バックド層B1を設けることにより、 $\Delta R/R$ (抵抗変化率)の大きなGMR効果を観測することができ、スピンバルブ型薄膜素子の再生出力特性を向上することができる。

【0074】ここで、出力のアシンメトリーに影響するフリー磁性層14の変動磁化の方向について、図面に基づいて説明する。図8は、フリー磁性層14の変動磁化 M_r の方向の規定について説明する模式説明図である。フリー磁性層14の変動磁化 M_r の方向に影響を与える

のは、次の3つの磁界である。つまり、センス電流 J によるセンス電流磁界 H_J と、固定磁性層12A、12B、12Cの固定磁化による反磁界(双極子)磁界 H_d と、フリー磁性層14と固定磁性層12A、12B、12Cとの層間相互作用による相互作用磁界 H_{int} である。これらの磁界からのフリー磁性層14の変動磁化 M_r への寄与が少なければ、アシンメトリーが減少する。すなわち、アシンメトリーを減少するためには、外部磁界が印加されない状態で、 $H_J + H_d + H_{int} = 0$ となることが望ましい。

【0075】ここで、本実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、第1の固定磁性層12Aと、第1の固定磁性層12Aに非磁性中間層12Bを介して形成され、第1の固定磁性層12Aの磁化方向と反平行に磁化方向が揃えられた第2の固定磁性層12Cとを積層体16に形成し固定磁性層を合成フェリ磁性状態とされる手段、いわゆる、シンセティックフェリピンド型(synthetic-ferri-pinned type)としたことにより、図8に示すように、前記反磁界(双極子)磁界 H_d を、第1の固定磁性層12Aの静磁結合磁界 M_{r1} と第2の固定磁性層12Cの静磁結合磁界 M_{r2} とにより、相互に打ち消してキャンセルすることができる。これにより、フリー磁性層14の変動磁化方向に影響を与えてしまう反磁界(双極子)磁界を、ほぼ $H_d = 0$ とすることができ、固定磁性層の固定磁化による反磁界(双極子)磁界 H_d からの、フリー磁性層14の変動磁化 M_r への寄与を激減することができる。

【0076】次に、アシンメトリーに影響するセンス電流 J によるセンス電流磁界 H_J の減少について説明する。図9は、バックド層B1によって、センス電流 J によるセンス電流磁界 H_J からフリー磁性層14の変動磁化 M_r への寄与の減少について説明する図である。図9(a)は、バックド層のないスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す媒体対向面(ABS面)に垂直な横断面図であり、図9(b)および図9(c)は、本実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す媒体対向面(ABS面)に垂直な横断面図である。

【0077】図9(a)において、符号101ないし104は、図24に示したバックド層のない従来のスピンバルブ型薄膜磁気素子に対応するものであり、図24における固定磁性層102のかわりに、第1の固定磁性層102Aと非磁性中間層102Bと第2の固定磁性層102Cとを有する、いわゆる、シンセティックフェリピンド型(synthetic-ferri-pinned type)とされる。

【0078】図9(a)に示すように、バックド層のないボトムタイプのスピンバルブ型薄膜素子においては、反強磁性層101、第1の固定磁性層102A、非磁性中間層102B、第2の固定磁性層102C、非磁性導電層103、フリー磁性層104にセンス電流 J を与えた場合、センス電流 J が主に流れる位置が、これらの積

10

20

30

40

50

層体の中心付近になろうとする傾向がある。しかし、これらの層の下部には膜厚の大きな反強磁性層101が存在しているため、センス電流Jは、流れてほしいフリー磁性層104よりも下側、すなわち、図9(a)に示すように、非磁性導電層103の下側付近に流れる傾向がある。このため、フリー磁性層14の位置には、センス電流Jによるセンス電流磁界H_sが、図9(a)において右向きに、極めて大きい寄与を与えることになり、アシンメトリーを小さくしようとして、フリー磁性層104の変動磁化M_rの方向を所望の方向に補正することに困難を生じていた。

【0079】これに対して、本実施形態においては、図9(b)に示すように、積層体16の最上部にバックド層B1を設けたことにより、この積層体16の電流中心の位置がフリー磁性層14側に移動している。このため、センス電流Jの中心が、ほぼフリー磁性層14位置を流れることになる。したがって、フリー磁性層14に対する、センス電流磁界H_sからの図9における左右方向への大きな寄与をなくすることができる。つまり、センス電流磁界を、ほぼH_s=0とすることができる。

【0080】言い換えれば、図9(b)に示すセンス電流Jは、非磁性導電層13とバックド層B1とにおいて、図9(c)に示すように、それぞれ同方向の分流J1と、分流J2とに分流したものに相当する。この場合、フリー磁性層14において、分流J1の作る右向き磁界と分流J2の作る左向き磁界とがキャンセルされる。このことにより、フリー磁性層14におけるセンス電流磁界を、ほぼH_s=0とすることができるのである。

【0081】したがって、上述した、図8に示すフリー磁性層14の変動磁化M_rの方向に影響を与える3つの磁界のうち寄与の大きな2つの磁界、すなわち、センス電流Jによるセンス電流磁界H_sと、固定磁性層12A、12B、12Cの固定磁化による反磁界(双極子)磁界H_dとをほぼキャンセルすることができる。このことにより、アシンメトリーを減少するためには、外部磁界が印加されない状態で、最も寄与の小さなフリー磁性層14と固定磁性層12A、12B、12Cとの層間相互作用による相互作用磁界H_{int}のみを考慮すればよいことになる。

【0082】したがって、スピンバルブ型薄膜素子が作動していない状態、つまり、センス電流Jが与えられておらず、センス電流磁界H_sは発生していない状態で、フリー磁性層14の変動磁化M_rが、図1におけるX1に近い方向となるように、ハードバイアス層17、17の磁化によって揃えればよい。つまり、センス電流Jが与えられていない場合、ハードバイアス層17、17により規定されるフリー磁性層14の変動磁化M_rは、固定磁性層12Cの固定磁化M_cと直交すればよく、センス電流Jが流れて初めてこれらが直交するように、セン

ス電流Jの寄与を見越して設定する必要がない。このため、センス電流Jが与えられておらず、センス電流磁界H_sが発生していない場合、フリー磁性層14の変動磁化M_rが、第2の固定磁性層12Cの固定磁化M_cと反対側を向こうとすることがなくなる。

【0083】ここで、このスピンバルブ型薄膜素子は、図1に示すように、ハードバイアス層17、17の上に形成された電極層18、18が積層体16の上側に延出したオーバーレイ部18a、18aを有している。このため、電極層18、18から、第2の固定磁性層12、非磁性導電層13、フリー(Free)磁性層14に検出電流(センス電流)Jを与えた場合、このセンス電流Jは、その大部分が、このオーバーレイ部18a、18aから積層体16に流入することになる。このため、フリー磁性層14に、主にセンス電流Jの流れる中央部分と、センス電流のほとんど流れない両側部分とが発生する。

【0084】フリー磁性層14全体に亘ってセンス電流磁界H_sが非常に小さいため、センス電流Jが流れている中央部分とセンス電流のほとんど流れない両側部分とにおいて、各磁界の寄与に大きな差を生じることが無くなり、フリー磁性層14全体において磁化方向のずれを生じることがない。

【0085】したがって、フリー磁性層14内に磁壁ができて単磁区化が妨げられることによって、磁化の不均一が発生することを防止できる。このため、スピンバルブ型薄膜素子において、バルクハイゼンノイズ発生を防止し、磁気記録媒体からの信号処理における安定性(stability)の向上を図ることができる。

【0086】以下、本実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を図面に基づいて説明する。図2ないし図6は本実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための断面図である。

【0087】本実施形態においてスピンバルブ型薄膜素子の製造方法は、概略説明すると、基板10上に、下地層10aと、反強磁性層11と、第1の固定磁性層12Aと、非磁性中間層12Bと、第2の固定磁性層12Cと、非磁性導電層13と、フリー磁性層14と、バックド層B1と、保護層15と、酸化層15aとを有する積層膜16'を形成する工程と、前記積層膜16'の上に前記積層膜16'に対向する下面に切り込み部72a、72aの形成されたリフトオフレジスト72を形成する工程と、前記リフトオフレジスト72に覆われていない部分を、前記反強磁性層11の一部を残して除去し、略台形状の積層体16を形成する工程と、前記積層体16の両側に、ハードバイアス層17、17を、前記フリー磁性層14と同じ階層位置に配置されるように形成する工程と、前記ハードバイアス層17、17上、および、前記リフトオフレジスト72の切り込み部72a、72aに対応する前記積層体16上に、電極層18、18を

形成する工程とを有する。

【0088】さらに詳細に説明すると、まず、図2に示すように、基板10上に、下地層10aと、反強磁性層11と、この反強磁性層11と接して形成され、前記反強磁性層11との交換結合磁界により磁化方向が固定される第1の固定磁性層12Aと、非磁性中間層12Bと、前記第1の固定磁性層12Aの磁化方向と反平行に磁化方向が揃えられた第2の固定磁性層12Cと、前記第2の固定磁性層12Cに非磁性導電層13を介して形成され、前記第2の固定磁性層12Cの磁化方向と交差する方向へ磁化方向が揃えられるべきフリー磁性層14と、非磁性導電材料からなるバックド層B1と、保護層15と、酸化層15aとを有する積層膜16'を形成する。このとき、積層体16'の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さHgは、0.2~0.5μmの範囲とされることが好ましい。

【0089】次に、すでに作成済みの別の薄膜磁気ヘッドを用いて、マイクロトラックプロファイル法によって、感度領域Sおよび不感領域Nの幅寸法を決定する。そして、あらかじめわかっている不感領域Nの幅寸法を考慮しながら、積層膜16'上にリフトオフレジスト72を形成する。

【0090】図2に示すように、このリフトオフレジスト72は、トラック幅方向（図中X1方向）の幅寸法R1で平面視して積層膜16'を覆うように設けられ、その下面には、切り込み部72a、72aが形成されている。この切り込み部72a、72aは、積層膜16'のうち不感領域N上に形成される。また、積層膜16'のうち感度領域S上は、前記リフトオフレジスト72によって幅寸法R2を有して、完全に覆われた状態となるようにされる。この幅寸法R2により、後の行程で形成される積層体16の上面におけるトラック幅の寸法が規定される。

【0091】次に、図3に示すように、イオンミリングなどのドライエッチングにより積層膜16'の両側を反強磁性層11の下側の一部を残して削り込んで積層体16を形成する。その後、図4に示すように、前記積層体16の両側にバイアス下地層17a、17a、ハードバイアス層17、17、中間層19を成膜する。本実施形態では、ハードバイアス層17、17の成膜および、後の工程で行われる電極層18、18の成膜の際に使用されるスパッタ法は、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法のいずれかまたはそれらを組み合わせたスパッタ法であることが好ましい。

【0092】図4に示すように、本実施形態では、積層体16の形成された基板10を、ハードバイアス層17、17の組成で形成されたターゲット74から放出されるビームに対して略垂直方向に置く。これにより、例

えばイオンビームスパッタ法を用いることにより、前記積層体16に対して略垂直方向からハードバイアス層17、17を成膜することができる。したがって、積層体16上に形成されたリフトオフレジスト72の切り込み部72a内にハードバイアス層17、17が入り込んで形成されることがない。なお、リフトオフレジスト72上にも、バイアス下地層17a、ハードバイアス層17、中間層19と同じ組成の層17a'、17'、19'がそれぞれ形成される。

【0093】次に、図5のように、前記積層体16に対して斜め方向から、Arによるイオンミリングや、逆スパッタ等を行い、切り込み部72a内に対応する前記積層体16表面の一部を除去する。これにより、酸化層15a、保護層15およびバックド層B1の一部を除去し、電極層18が直接バックド層B1に接触する部分を形成する。

【0094】さらに、図6に示すように、前記積層体16に対して斜め方向から、ハードバイアス層17上に電極層18を成膜する。この際、前記電極層18を、積層体16上に設けられたリフトオフレジスト72の切り込み部72a内にまで成膜する。ここで、例えば、積層体16が形成された基板10に対し、電極層18の組成で形成されたターゲット76を斜めに傾けて、前記ターゲット76を前記基板10上で移動または回転させながら、イオンビームスパッタ法により前記電極層18をハードバイアス層17上に成膜する。

【0095】このとき、斜め方向からスパッタされる電極層18は、ハードバイアス層17上のみならず、積層体16の上に形成されたレジスト層72の切り込み部72a内部にも侵入して成膜され、オーバーレイ部18aを形成する。すなわち、前記切り込み部72a内に成膜された電極層18のオーバーレイ部18aは、積層体16の不感領域を覆う位置に成膜される。このとき、電極層18のオーバーレイ部18a、18a表面と積層体16表面とのなす角θは、45度~70度の範囲とされることが好ましい。

【0096】なお、図6では、基板10を固定してターゲット76をこの基板10に対して斜めに移動または回転させているが、ターゲット76を固定して基板10側を前記ターゲット76に対して斜め方向に移動または回転させてもよい。このとき、ターゲット76の表面と基板10とのなす角度、すなわち、スパッタ粒子の照射方向を決める角度は、20度~50度の範囲であることが好ましい。この角度は、例えば、スパッタ用ターゲット76の表面と基板10とのなす角度を調整することにより規定することができる。また、図6に示すように、リフトオフレジスト72の上の層19'には、電極層18と同じ組成の層18'が形成される。

【0097】そして、次の工程では、図6に示すリフトオフレジスト72を、レジスト剥離液を用いながらリフ

10

20

30

40

50

トオフによって除去する。これによって、図 1 に示すスピンバルブ型薄膜磁気素子が完成する。

【0098】本実施形態では、電極層 18 におけるオーバーレイ部 18a のトラック幅方向長さ寸法を、リフトオフレジスト 72 のトラック幅方向の幅寸法 R1 と幅寸法 R2 とにより切り込み部 72a のトラック幅方向寸法を設定することにより、 $0.03\mu\text{m} \sim 0.10\mu\text{m}$ に設定することができる。

【0099】ここで、このオーバーレイ部 72a のトラック幅方向寸法を、 $0.03\mu\text{m}$ より小さく設定した場合には、オーバーレイ部 18a を形成した十分な効果を得ることができないため好ましくない。また、オーバーレイ部 18a のトラック幅方向寸法が、 $0.10\mu\text{m}$ 以上に設定された場合には、ターゲット 74、76 と基板 10 との角度を大きく傾斜させた状態で対向させて電極層 18 をスパッタ成膜する必要がある。この場合、切り込み部 72a 内部にまで十分な厚みを有する電極層 18 を形成することができなくなる、電極層 18 のオーバーレイ部 18a、18a 表面と積層体 16 表面とのなす角 θ が 45 度よりも小さくなるなどの不都合が発生しやすくなる。この不都合が発生すると、電極層 18 のオーバーレイ部 18a の下側に位置する積層体 16 (GMR 膜) に分流的センシング電流が無視できなくなり、サイドリーディング等の不具合を生じるので好ましくない。

【0100】本実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法によれば、フォトリフトオフレジスト 72 を一回形成するのみで、積層体 16、ハードバイアス層 17、および、電極層 18 を所望の形状に形成することができる。しかも、ターゲット 74、76 と基板 10 との角度を傾斜させないかまたは傾斜させた状態で対向させることを選択したスパッタ法により、ハードバイアス層 17 および電極層 18 を所望の形状に形成するので、工程数の少ない状態で、上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子を容易に得ることができる。

【0101】このようなスピンバルブ型薄膜磁気素子は、積層体 16 の両側から中央部分に向けて積層体 16 の表面に延出するオーバーレイ部 18a、18a を備えた電極層 18 を有しているので、積層体 16 の中央部分は感度領域とされ、オーバーレイ部 18a、18a の下側に位置する積層体 16 の両側部分は不感領域とされるため、感度領域の幅をトラック幅とすることができる。したがって、トラック幅を狭くすることができ、記録密度の高密度化を目的とした狭トラック化に対応することが可能となる。

【0102】しかも、このスピンバルブ型薄膜磁気素子は、電極層 18、18 の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さを H1、電極層 18、18 のシート抵抗値を Rs1、積層体 16 の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さを Hg、前記積層体の

シート抵抗値を Rsg としたとき、 $(Rs1/H1)/(Rsg/Hg) \leq 0.02$ で示される関係を有するものである。オーバーレイ部 18a、18a から流れ込むセンシング電流への抵抗を低減することができ、ハードバイアス層 17 を経由して流れ込むセンシング電流の分流を少なくすることができる。その結果、積層体のオーバーレイ部 18a、18a の下方に位置する不感領域 N に流れるセンシング電流が少なくなり、不感領域 N での電圧変化が発現しなくなるので、スピンバルブ型薄膜磁気素子のサイドリーディングを防止することが可能となる。また、センシング電流の分流を少なくすることができ、センシング電流を、積層体 16 の中央部分に位置する感度領域 S に集中させることができるので、感度領域 S における電圧変化が向上し、スピンバルブ型薄膜磁気素子の出力特性を向上させることが可能となる。

【0103】さらに、このスピンバルブ型薄膜磁気素子は、前記 H1 と、前記 Rs1 と、前記 Hg と、前記 Rsg との関係において、 $(Rs1/H1)/(Rsg/Hg) \leq 0.01$ で示される関係を有するものである。オーバーレイ部 18a、18a から流れ込むセンシング電流への抵抗をより一層低減することができ、ハードバイアス層 17 を経由して流れ込むセンシング電流の分流をより一層少なくすることができる。

【0104】また、このスピンバルブ型薄膜磁気素子は、電極層 18、18 の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さを H1、電極層 18、18 のシート抵抗値を Rs1、積層体 16 の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さ Hg を $0.2 \sim 0.5\mu\text{m}$ の範囲、積層体 16 のシート抵抗値を Rsg を $15 \sim 25\Omega/\square$ の範囲としたとき、電極層 18 の X1 方向の単位長さあたりの抵抗値 $(Rs1/H1) \leq 1\Omega/\mu\text{m}$ で示される関係を有している。オーバーレイ部 18a、18a から流れ込むセンシング電流への抵抗を低減することができ、ハードバイアス層 17 を経由して流れ込むセンシング電流の分流を少なくすることができる。

【0105】さらに、このスピンバルブ型薄膜磁気素子は、前記 H1 と、前記 Rs1 との関係において、前記 Hg を $0.2 \sim 0.5\mu\text{m}$ の範囲、前記 Rsg を $15 \sim 25\Omega/\square$ の範囲としたとき、 $(Rs1/H1) \leq 0.5\Omega/\mu\text{m}$ で示される関係を有するものである。オーバーレイ部 18a、18a から流れ込むセンシング電流への抵抗をより一層低減することができ、ハードバイアス層 17 を経由して流れ込むセンシング電流の分流をより一層少なくすることができる。

【0106】さらに、このスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、電極層の前記オーバーレイ部 18a、18a 表面と積層体 16 表面とのなす角が、 45 度 ~ 70 度の範囲とされているので、オーバーレイ部 18a、18a から流れ込むセンシング電流への抵抗をより一層低減する

10

20

30

40

50

ことができ、ハードバイアス層17を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。

【0107】上述したように、このスピンバルブ型薄膜磁気素子は、ハードバイアス層17を経由して流れ込むセンス電流の分流が少ないものとなり、スピンバルブ型薄膜磁気素子のサイドリーディングをより一層効果的に防止することができるものとなる。また、感度領域Sにおける微小外部磁界に対する感度および電圧変化がより一層向上し、スピンバルブ型薄膜磁気素子の出力特性をより一層向上させることが可能となる。

【0108】以下、本発明の第2実施形態を、図面に基

づいて説明する。
 【第2実施形態】図10は、本発明の第2実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子を記録媒体との対向面側から見た場合の構造を示した断面図である。図10に示すように、本発明の第2実施形態のスピンバルブ型薄膜素子においても、第1実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子と同様に、ボトム型(Bottomtype)のシンセティックフェリピンド型(synthetic-ferri-pinned spin-valves)とされている。図10に示した第2実施形態のスピンバルブ型薄膜素子が図1に示した第1実施形態と異なるところは、シンセティックフェリフリー型(synthetic-ferri-free spin-valves)とされたフリー磁性層に関する点と、平均自由行程延長層として、バックド層に変えて鏡面反射層を設けた点である。

【0109】図10において、符号40は、基板を示している。この基板40の上には、下地層40aが設けられ、下地層40aの上には、反強磁性層41が形成され、さらに、反強磁性層41の上には、固定磁性層42A、42B、42Cが形成されている。この固定磁性層42A、42B、42Cは、第1の固定磁性層42Aと、前記第1の固定磁性層42Aの上に非磁性中間層42Bを介して形成され、前記第1の固定磁性層42Aの磁化方向と反平行に磁化方向が揃えられた第2の固定磁性層42Cとからなる。

【0110】この第2の固定磁性層42Cの上には、Cu(銅)等からなる非磁性導電層43が形成され、さらに、前記非磁性導電層43の上には、フリー磁性層44が形成されている。このフリー磁性層44は、第2、第1フリー磁性層44A、44Cが非磁性中間層44Bを介して2つに分断されて形成されている。第1、第2フリー磁性層44C、44Aは、磁化の向きが180°異なるフェリ磁性状態とされている。前記第1フリー磁性層44Cの上には、鏡面反射層S1が設けられ、前記鏡面反射層S1の上には、Taなどで形成された保護層45が形成され、この保護層の上側は、酸化タンタル(Ta-Oxide)からなる酸化層45aとされている。図10に示すように、反強磁性層41の一部から酸化層45aまでの各層により、略台形状の断面形状を有する積層体46が構成されている。

【0111】また、符号47、47はハードバイアス層、48、48は電極層、49は中間層を示している。これら、ハードバイアス層47、47は、積層体46の両側位置に張り出している反強磁性層41上にバイアス下地層47aを介して形成されている。このハードバイアス層47、47上には、Taからなる中間層49を介して電極層48、48が形成されている。

【0112】ここで、下地層40a、反強磁性層41、第1の固定磁性層42A、非磁性中間層42B、第2の固定磁性層42C、非磁性導電層43、保護層45、積層体46、ハードバイアス層47、電極層48、オーバーレイ部48a、中間層49は、それぞれ、図1ないし図6に示す第1実施形態における下地層10a、反強磁性層11、第1の固定磁性層12A、非磁性中間層12B、第2の固定磁性層12C、非磁性導電層13、フリー磁性層14、保護層15、積層体16、ハードバイアス層17、電極層18、オーバーレイ部18a、中間層19に対応している。

【0113】第2フリー磁性層44Aおよび第1フリー磁性層44Cは、第1実施形態のフリー磁性層14と同様の材質などからなり、具体的に例えば、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成される。また、非磁性中間層44Bは、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。

【0114】また、第1フリー磁性層44Cおよび第2フリー磁性層44Aは、それぞれ2層で形成されることもできる。第1フリー磁性層44Cおよび第2フリー磁性層44Aの、非磁性中間層44Bおよび鏡面反射層S1に接する側には、それぞれC層が形成されているものとしてもよい。これにより、第1、第2フリー磁性層間の反平行結合を強化できるとともに、非磁性中間層44Bおよび鏡面反射層S1との拡散を防止することができる。また、非磁性導電層43に接する側にC層を形成することにより、抵抗変化率を大きくできる。

【0115】フリー磁性層44においては、第2フリー磁性層44Aの磁化方向がハードバイアス層47の磁束によって図示X1方向に固定され、第1フリー磁性層44Cの磁化方向が図示X1方向と反対方向に固定されている。第1フリー磁性層44Cは、交換結合磁界(RKKY相互作用)によって第2フリー磁性層44Aと磁気的に結合されて、図示X1方向の反対方向に磁化された状態となっている。第2フリー磁性層44Aおよび第1フリー磁性層44Bの磁化は、フェリ状態を保ちながら、外部磁界の影響を受けて回転自在とされている。

【0116】また、第2フリー磁性層44Aと第1フリー磁性層44Cの厚さは異なって形成され、第2フリー磁性層44Aの厚さが第1フリー磁性層44Cの厚さよりも大とされている。このため、磁化の大きさと層の厚さの積で表される磁気モーメントは、第2フリー磁性層

10

20

30

40

50

44Aの方が大きくなっている。従って、フリー磁性層全体としては、第2フリー磁性層44Aおよび第1フリー磁性層44Cの各磁気モーメントの合成モーメントの方向、即ち図示X1方向に磁化が揃えられた状態にある。このため、単層のフリー磁性層の場合よりも、GMRに寄与する第2フリー磁性層44Aの膜厚を厚くすることができ、層厚が薄くなることによる出力特性の劣化を防止することができ、フリー磁性層全体の合成磁気モーメントを小さくできる。したがって、印加される外部磁界に対する磁化方向回転反応性を向上して低磁場における抵抗変化率を増大すること、即ち、磁場に対する感度を向上することができる。

【0117】また、本実施形態においては、平均自由行程延長層として、前記第2フリー磁性層44Cの上に鏡面反射層S1が設けられている。この鏡面反射層S1の厚さは、5～500オングストロームの範囲に設定されることができ、この鏡面反射層S1の膜厚が、5オングストロームよりも薄い値に設定されると、鏡面反射の効果が充分得られないため、好ましくない。また、この鏡面反射層S1の膜厚が、500オングストロームよりも厚い値に設定されると、再生ギャップであるシールド間隔が広くなり過ぎ、ヘッドの分解能が低下するため好ましくない。

【0118】このように設定することにより、鏡面反射層S1は、フリー磁性層44と鏡面反射層S1との界面付近においてポテンシャル障壁を形成し、フリー磁性層44を移動するアップスピンの伝導電子を、フリー磁性層44と鏡面反射層S1との界面付近においてスピンの状態を保存したまま反射させることができ、アップスピンの伝導電子の平均自由行程をさらに延ばして、後述するように、いわゆる鏡面反射効果を示す。

【0119】ここで、伝導電子をスピンの状態を保存したまま反射させるために、フリー磁性層44と鏡面反射層S1との界面でポテンシャル障壁を形成すること、すなわち、フリー磁性層44は良好な導電体であるのに対し、鏡面反射層S1は電気的に絶縁体であることが有効である。

【0120】このような条件を満たす絶縁材料としては、 α -Fe₂O₃、NiO、CoO、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al₂O₃、Al-Q-O（ここでQはB、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される一種以上）、R-O（ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）等の酸化膜、Al-N、Al-Q-N（ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される一種以上）、R-N（ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上）等の窒化膜等を挙げることができ、このような絶縁材料によって、鏡面反射層S1を構成することができる。

【0121】また、本実施形態においては、鏡面反射層S1によって、磁気抵抗効果に寄与する+スピン（上向きスピン：up spin）の電子における平均自由行程（mean free path）をのばし、いわゆる鏡面反射効果（specular reflection effect）によりスピンバルブ型薄膜磁気素子において、大きな $\Delta R/R$ （抵抗変化率）が得られ、高密度記録化に対応できるものとすることができる。

【0122】以下、鏡面反射効果（specular reflection effect）について説明する。図11は、スピンバルブ型薄膜磁気素子において鏡面反射層による鏡面反射効果への寄与を説明するための模式説明図である。図11

(a)は、鏡面反射層のないスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す断面図であり、図11(b)は、本実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す断面図である。スピンフィルター効果の説明において上述したように、GMR効果には、第2の固定磁性層42Cの固定磁化方向によって規定される+スピン（アップスピン）の伝導電子の挙動のみを考えればよい。

【0123】外部磁界の印加されない状態では、図11(a)、(b)に示すように、非磁性導電層43からフリー磁性層44にまで到達する。そして、フリー磁性層44内部を移動して（本実施形態においては第2フリー磁性層44C、非磁性中間層44B、第1フリー磁性層44Aを順に通過して）、フリー磁性層44と鏡面反射層S1との界面付近に到達する。図11(a)に示すように、鏡面反射層のない場合には、+スピン電子が、フリー磁性層44中を移動し、その上面において散乱してしまう。このため、平均自由行程は図11(a)に示す λ^* となっている。一方、図11(b)に示すように、鏡面反射層S1のある場合には、フリー磁性層44と鏡面反射層S1との界面付近にポテンシャル障壁が形成されているため、+スピン電子が、フリー磁性層44と鏡面反射層S1との界面付近で鏡面反射（鏡面散乱）する。

【0124】通常、伝導電子が散乱した場合には、その電子の持っているスピン状態（エネルギー、量子状態等）は変化する。しかし、鏡面散乱した場合には、この+スピン電子は、エネルギー、量子状態等のスピン状態を保存されたまま反射される確率が高く、再びフリー磁性層44中を移動することになる。つまり、鏡面反射によっては、伝導電子が、スピン状態が変化することなく、あたかも、散乱しなかったようにフリー磁性層44中を移動することになる。これは、+スピン電子は、図11(b)に示すように、鏡面反射した分、反射平均自由行程 λ^* だけ平均自由行程が延びたことを意味する。

【0125】このようにして、+スピン電子は、鏡面反射層S1を設けたことにより、反射平均自由行程 λ^* だけ平均自由行程が延びることになり、平均自由行程が大幅に延びる。したがって、鏡面反射層S1を設けること

により、比較的低い抵抗値（すなわち、長い平均自由行程）を有することになり、スピンバルブ型薄膜磁気素子としての抵抗値は減少する。

【0126】一方、外部磁界を印加することにより、フリー磁性層44の磁化方向を回転すると、この磁性材料の磁化方向とスピンの向きが異なるため、+スピン電子がフリー磁性層44中で散乱する、つまり、フリー磁性層44の磁化方向にしたがって、+スピン電子が-スピン電子（ダウンスピンの伝導電子）と同等の平均自由行程を有する確率が増大することになり、有効平均自由行程が急激に減少する。つまり、抵抗値が急激に増大する。このように、印加される外部磁界の有無により、スピンバルブ型薄膜磁気素子としての抵抗値が変化してGMR効果を観測することができる。

【0127】このように、本実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子は、鏡面反射層S1を具備しており、鏡面反射効果を発現させることができ、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を大幅に延ばすことができるので、ダウンスピンの伝導電子との平均自由行程差が大きくなって、スピンバルブ型薄膜磁気素子の磁気抵抗変化率を大幅に向上できる。また、本実施形態では、非磁性中間層44Bと第1のフリー磁性層44Cとでアップスピンの伝導電子の一部が散乱されてしまうが、フリー磁性層を第1の実施形態と同様の単層構造とすることで、より有効に鏡面反射効果を発現させることもできる。

【0128】なお、このスピンバルブ型薄膜磁気素子は、反強磁性層41の上に、第1固定磁性層42A、非磁性層42B、第2固定磁性層42C、非磁性導電層43、第2フリー磁性層44A、非磁性中間層44B、第1フリー磁性層44C、鏡面反射層S1、保護層45が順次積層されて積層体46が形成されること以外は、第1実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子と同様に製造される。

【0129】本実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子によれば、図1に示す第1実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子と同様な効果に加えて、以下の効果が得られる。すなわち、シンセティックフェリフリー型（synthetic-ferri-free spin-valves）とされているため、低磁場でフリー磁性層の磁化が感度よく回転するとともに、大きな抵抗変化率（ $\Delta R/R$ ）を得ることが可能になる。また、非磁性中間層44Bおよび第1のフリー磁性層44Cは、第1実施形態において図9に基づいて説明したバックド層B1を設けた場合と同様に、センス電流Jの流れる中心位置をフリー磁性層側に移動させるため、フリー磁性層におけるセンス電流磁界H_sを弱める効果を得ることができる。

【0130】また、アップスピンの伝導電子が、フリー磁性層44と鏡面反射層S1との界面付近で鏡面反射されるので、アップスピンの伝導電子の平均自由行程を延ばすことができる。このため、いわゆる鏡面反射効果を

発現させることが可能となり、スピンに依存した伝導電子における平均自由行程の行程差が大きくなって、磁気抵抗変化率を高くすることができる。したがって、シンセティックフェリフリー層（フリー磁性層44）による外部磁界の感度の向上と、鏡面反射層S1の鏡面反射効果による磁気抵抗変化率の向上とを同時に発揮させることができる。

【0131】以下、本発明の第3実施形態を、図面に基づいて説明する。

10 [第3実施形態] 図12は、本発明の第3実施形態のスピンバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た場合の構造を示した断面図である。図12に示すように、本発明の第3実施形態のスピンバルブ型薄膜磁気素子1は、フリー磁性層を中心としてその厚さ方向両側に非磁性導電層、固定磁性層及び反強磁性層が1層ずつ積層された、いわゆるデュアルスピンバルブ型薄膜磁気素子である。デュアルスピンバルブ型薄膜磁気素子は、フリー磁性層/非磁性導電層/固定磁性層の3層の組合せが2組存在するために、フリー磁性層/非磁性導電層/固定磁性層の3層の組合せが1組であるシングルスピンバルブ薄膜磁気素子と比較して、大きな抵抗変化率が期待でき、高密度記録に対応できるものとなっている。また、このスピンバルブ型薄膜磁気素子は、バイアス層として、ハードバイアス層が設けられているものである。

30 【0132】このスピンバルブ型薄膜磁気素子1は、基板30上に、Taなどからなる下地層3、第1反強磁性層4、第1固定磁性層5、Cuなどからなる第1非磁性導電層6、フリー磁性層7、Cuなどからなる第2非磁性導電層（一部が狭幅な非磁性導電層）8、第2固定磁性層（狭幅な固定磁性層）9、第2反強磁性層（狭幅な反強磁性層）35及びTaなどからなる保護層36が順次積層されて形成された積層体38と、この積層体38の両側に形成されてフリー磁性層7の磁化を揃えるCoPt合金等からなる一対のハードバイアス層32、32と、このバイアス層32、32上に形成されて検出電流を積層体38に与えるCu、Au、Ta、Cr、W等からなる一対のリード層（電極層）34、34とを主体として構成されている。

40 【0133】そして、図12に示す積層体38における磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さH_gは、0.2～0.5μmの範囲とするのが好ましい。また、積層体16のシート抵抗値R_{sg}は、15～25Ω/□の範囲とするのが好ましい。

50 【0134】フリー磁性層7は、Co等よりなる第1拡散防止層7aと、NiFe合金よりなる強磁性自由層7bと、Co等よりなる第2拡散防止層7cとが積層されて構成されている。第1、第2拡散防止層7a、7cは、隣接する第1、第2非磁性導電層6、8との相互拡散を防止する。第1、第2拡散防止層7a、7cの膜厚

は、0.3～1.0nmの範囲、強磁性自由層7bの膜厚は、1～3nmの範囲が好ましい。このフリー磁性層7の磁化方向は、ハードバイアス層32、32のバイアス磁界によって図示X1方向に揃えられている。このようにフリー磁性層7が単磁区化されることにより、スピンバルブ型薄膜磁気素子1のバルクハウゼンノイズを低減できる。

【0135】第1固定磁性層5は、第1強磁性ビンド層5aと、第1非磁性中間層5bと、第2強磁性ビンド層5cとが積層されて構成されている。第2強磁性ビンド層5cの膜厚は、第1強磁性ビンド層5aの膜厚より大とされている。第1強磁性ビンド層5aの磁化方向は、第1反強磁性層4との交換結合磁界によって図示Y方向に固定されている。また、第2強磁性ビンド層5cは、第1強磁性ビンド層5aと反強磁性的に結合して、その磁化方向が図示Y方向の反対方向に固定されている。

【0136】このように第1、第2強磁性ビンド層5a、5cの磁化方向が互いに反平行とされているため、それぞれの層の磁気モーメントが相互に打ち消し合う関係にあるが、第2強磁性ビンド層5cが第1強磁性ビンド層5aよりも厚く形成されているので、第2強磁性ビンド層5cの磁化（磁気モーメント）が僅かに残存し、これにより第1固定磁性層5全体の正味の磁化方向が図示Y方向の反対方向に固定される。なお、第2強磁性ビンド層5cの膜厚を、第1強磁性ビンド層5aの膜厚より小としてもよい。

【0137】第2固定磁性層9は、第3強磁性ビンド層9aと、第2非磁性中間層9bと、第4強磁性ビンド層9cとが積層されて構成されている。第3強磁性ビンド層9aの膜厚は、第4強磁性ビンド層9cの膜厚より大とされている。第4強磁性ビンド層9cの磁化方向は、第2反強磁性層35との交換結合磁界によって図示Y方向に固定されている。また、第3強磁性ビンド層9aは、第4強磁性ビンド層9cと反強磁性的に結合してその磁化方向が図示Y方向の反対方向に固定されている。

【0138】このように第1固定磁性層5の場合と同様に、第3、第4強磁性ビンド層9a、9cのそれぞれの磁気モーメントが相互に打ち消し合う関係にあるが、第3強磁性ビンド層9aが第4強磁性ビンド層9cより厚く形成されているので、第3強磁性ビンド層9aの磁化（磁気モーメント）が僅かに残存し、第2固定磁性層9全体の正味の磁化方向が図示Y方向の反対方向に固定される。なお、第3強磁性ビンド層9aの膜厚を、第4強磁性ビンド層9cの膜厚より小としてもよい。

【0139】このように第1、第2固定磁性層5、9は、第1～第4強磁性ビンド層5a、5c、9a、9cがそれぞれ反強磁性的に結合し、かつ第2、第3強磁性ビンド層5c、9aの磁化がそれぞれ残存しており、人工的なフェリ磁性状態（synthetic ferri pinned; シンセフィックフェリビンド）を示す層となる。また、フリ

ー磁性層7の磁化方向と第1、第2固定磁性層5、9の磁化方向とが交叉する関係になる。

【0140】また、第1～第4強磁性ビンド層5a、5c、9a、9cは、NiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金等により形成されるものであり、特にCoより形成されることが好ましい。また、第1～第4強磁性ビンド層5a、5c、9a、9cは同一の材料で形成されることが好ましい。また、第1、第2非磁性中間層5b、9bは、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうちの1種またはこれらの合金からなることが好ましく、特にRuにより形成されることが好ましい。第1、第4強磁性ビンド層5a、9cの膜厚は、1～2nmの範囲が好ましく、第2、第3強磁性ビンド層5c、9aの膜厚は、2～3nmの範囲が好ましい。また、第1、第2非磁性中間層5b、9bの膜厚は、0.7～0.9nmの範囲が好ましい。

【0141】なお、第1、第2固定磁性層5、9はそれぞれ2つの強磁性層（第1～第4強磁性ビンド層5a、5c、9a、9c）により構成されているが、これに限られず、2以上の強磁性層により構成されていても良い。この場合には、これらの強磁性層の間に非磁性中間層がそれぞれ挿入されるとともに、隣接する強磁性層同士のそれぞれの磁化方向が反平行とされて全体がフェリ磁性状態とされていることが好ましい。

【0142】このように、第1、第2固定磁性層5、9がいわゆる人工的なフェリ磁性状態（synthetic ferri pinned; シンセフィックフェリビンド）の層であるので、第1、第2固定磁性層5、9の磁化方向を強固に固定して第1、第2固定磁性層5、9を安定させることができる。

【0143】第1、第2非磁性導電層6、8は、フリー磁性層7と第1、第2固定磁性層5、9との磁気的な結合を小さくさせるとともにセンス電流が主に流れる層であり、Cu、Cr、Au、Agなどに代表される導電性を有する非磁性材料より形成されることが好ましく、特にCuより形成されることが好ましい。第1、第2非磁性導電層6、8の膜厚は、それぞれ2～2.5nmの範囲とすることが好ましい。

【0144】第1、第2反強磁性層4、35は、PtMn合金で形成されていることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界も大きい。また、第1、第2反強磁性層4、35は、X-Mn合金、X'-Pt-Mn合金（ただし前記組成式において、XはPt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのなかから選択される1種を示し、X'はPd、Cr、Ru、Ni、Ir、Rh、Os、Au、Ag、Ne、Ar、Xe、Krのなかから選択される1種または2種以上を示す）のいずれかより形成されていても良い。

【0145】前記PtMn合金および前記X-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37～63原子%の範囲であることが望ましい。より好ましくは、44～57原子%の範囲である。さらにまた、X'-Pt-Mnの式で示される合金において、X'+Ptが37～63原子%の範囲であることが望ましい。より好ましくは、44～57原子%の範囲である。第1、第2反強磁性層4、35の膜厚は、それぞれ8～11nmの範囲とすることが好ましい。

【0146】第1、第2反強磁性層4、35として上記した適正な組成範囲の合金を使用し、これを磁場で熱処理することで、大きな交換結合磁界を発生する第1、第2反強磁性層4、35を得ることができ、この交換結合磁界によって第1、第2固定磁性層5、9の磁化方向を強固に固定できる。とくに、PtMn合金であれば、 $6.4 \times 10^4 \text{ A/m}$ を越える交換結合磁界を有し、交換結合磁界を失うブロッキング温度が653K(380℃)と極めて高い第1、第2反強磁性層4、35を得ることができる。

【0147】また、第1反強磁性層4は、第1固定磁性層5やフリー磁性層7よりも図示X1方向両側に突出して形成されている。そして、この第1反強磁性層4の突出部4a、4a上に、バイアス層32、32及びリード層34、34が順次積層されている。そして、第1反強磁性層4の突出部4a、4aとバイアス層32、32との間に、TaまたはCrからなるバイアス下地層31、31が積層されている。例えば、非磁性金属であって体心立方構造(bcc構造)であるCrからなるバイアス下地層31、31上にハードバイアス層32、32を形成すると、ハードバイアス層32、32の保磁力および角形比が大きくなり、フリー磁性層7の単磁区化に必要なバイアス磁界を増大させることができる。

【0148】また、ハードバイアス層32、32とリード層34、34との間には、TaまたはCrからなる中間層33、33が積層されている。リード層34、34としてCrを用いた場合は、Taの中間層33、33を設けることにより、後工程のレジスト硬化などの熱プロセスに対して拡散バリアーとして機能し、バイアス層32、32の磁気特性の劣化を防ぐことができる。また、リード層34、34としてTaを用いる場合は、Crの中間層33、33を設けることにより、Crの上に堆積するTaの結晶を、より低抵抗の体心立方構造としやすくする効果がある。

【0149】また、積層体38の図示X1方向両側に位置して基板30から離れた側には、一対の切欠部が形成され、これが一対のリード接続部37、37とされている。リード接続部37、37は、第2固定磁性層9及び第2反強磁性層35の図示X1方向両側と、第2非磁性導電層8の一部のX1方向両側に形成されている。第2反強磁性層35及び第2固定磁性層9は、その図示X

1方向(トラック幅方向)の幅が、フリー磁性層7の幅よりも狭幅とされている。また、第2非磁性導電層8のうち第2固定磁性層9側の部分の幅も同様にフリー磁性層7の幅より狭幅とされている。また、第2非磁性導電層8のフリー磁性層7側の部分は、フリー磁性層7の幅とほぼ同等とされており、図示X1方向に突出した突出部8a、8aを有している。

【0150】このリード接続部37、37には、リード層34、34のオーバーレイ部34a、34aが接続されている。リード層34、34は、積層体38のX1方向両側から積層体38の中央に向けてハードバイアス層32、32上を延出して積層体38の図示X1方向両端に被着し、オーバーレイ部34a、34aがリード接続部37、37に接続している。また、オーバーレイ部34a、34aは、図示X1方向において相互にTwの間隔をあけてリード接続部37、37に配置されている。この間隔Twがスピンバルブ型薄膜磁気素子1の光学的なトラック幅Twとなる。

【0151】したがって、リード接続部37、37においては、第2非磁性導電層8の突出部8a、8aが図示X1方向に延出しており、このためオーバーレイ部34a、34aが第2反強磁性層35を介することなく、第2非磁性導電層8の突出部8a、8aに直接に接合している。また、オーバーレイ部34a、34aは、突出部8a、8aによってフリー磁性層7から離間されている。

【0152】各リード接続部37の図示X1方向(トラック幅方向)の幅Mは、0.03～0.5μmの範囲が好ましい。幅Mがこの範囲であれば、リード接続部37におけるリード層34と積層体38との接合面積を大きくすることができ、磁気抵抗効果に寄与しない接合抵抗を低減して、センス電流を積層体38に効率よく流すことができ、再生特性の向上を図ることができる。

【0153】リード接続部37、37が切欠部とされ、リード層34、34がこの切欠部にはめ込まれる形で接続されるので、積層体38とリード層34、34との段差を小さくすることができる。これにより、スピンバルブ型薄膜磁気素子1のギャップ幅を小さくすることができる。また、このスピンバルブ型薄膜磁気素子1の上部に上部絶縁層を積層した場合には、上部絶縁層にピンホール等が生じるおそれがなく、スピンバルブ型薄膜磁気素子1の絶縁性を高めることができる。

【0154】積層体38の図示X1方向両側、即ちトラック幅Tw方向両側には、例えばCoPt(コバルト白金)合金からなる一対のハードバイアス層32、32が形成されている。ハードバイアス層32、32は、フリー磁性層7と同じ階層位置に位置してフリー磁性層7に隣接している。また、ハードバイアス層32、32の上面32a、32aは、リード接続部37、37よりも基板30側の位置で積層体38に接合している。また、ハ

ードバイアス層 32、32 とリード層 34、34 との間には、中間層 33、33 が形成されている。中間層 33、33 は、第 2 非磁性導電層 8 の図示 X1 方向両側から突出部 8a、8a に当接している。したがって、リード接続部 37、37 には、リード層 34、34 のみが接続される。

【0155】また、図 1 に示す構造のスピバルブ型薄膜素子 1 は、リード層 34、34 の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さ $H12$ 、リード層 34、34 のシート抵抗値を $R s 12$ 、積層体 38 の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さを $H g 2$ 、前記積層体のシート抵抗値を $R s g 2$ としたとき、下記一般式で示される関係を有している。

$$(R s 12 / H 12) / (R s g 2 / H g 2) \leq 0.02$$

$(R s 12 / H 12) / (R s g 2 / H g 2)$ が 0.02 を越える場合、リード層 34、34 のオーバーレイ部 34a、34a から流れ込むセンス電流の比率を大きくする効果が十分に得られなくなり、サイドリーディングが発生する恐れがあるため好ましくない。また、前記 $H 12$ と、前記 $R s 12$ と、前記 $H g 2$ と、前記 $R s g 2$ との関係は、下記一般式で示される関係を有することがより好ましい。

$$(R s 12 / H 12) / (R s g 2 / H g 2) \leq 0.01$$

【0156】また、図 1 に示す構造のスピバルブ型薄膜素子 1 は、リード層 34、34 の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さ $H 12$ 、リード層 34、34 のシート抵抗値を $R s 12$ 、積層体 38 の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さ $H g 2$ を 0.2 ~ 0.5 μm の範囲、積層体 38 のシート抵抗値を $R s g 2$ を 15 ~ 25 Ω / \square の範囲としたとき、下記一般式で示される関係を有している。

$$(R s 12 / H 12) \leq 1 \Omega / \mu m$$

$(R s 12 / H 12)$ が 1 $\Omega / \mu m$ を越える場合、リード層 34、34 のオーバーレイ部 34a、34a から流れ込むセンス電流の比率を大きくする効果が十分に得られなくなり、サイドリーディングが発生する恐れがあるため好ましくない。また、前記 $H 12$ と、前記 $R s 12$ との関係において、前記 $H g 2$ を 0.2 ~ 0.5 μm の範囲、前記 $R s g 2$ を 15 ~ 25 Ω / \square の範囲としたとき、下記一般式で示される関係を有することがより好ましい。

$$(R s 12 / H 12) \leq 0.5 \Omega / \mu m$$

【0157】また、リード層 34、34 のオーバーレイ部 34a、34a 表面と積層体 38 表面とのなす角 $\theta 2$ は、45 度 ~ 70 度の範囲とされることが好ましい。

(発明者の方へ：角度を 45 度 ~ 70 度とする理由を簡

単に記載して下さるようお願いいたします。また、記載内容の確認をお願いいたします。)

この角度 $\theta 2$ が、45 度よりも小さい場合、オーバーレイ部 34a、34a の先端部の厚みが薄くなり、先端部のシート抵抗値 $R s 12$ が大きくなって、オーバーレイ部 18a、18a から流れ込むセンス電流への抵抗が大きくなるため、サイドリーディングを発生する恐れがあるため好ましくない。一方、前記角度 $\theta 2$ が、70 度よりも大きい場合、電極層上面と積層体上面との段差が急峻になりすぎ、スピバルブ型薄膜磁気素子の上面に成膜される上部ギャップとなる絶縁膜がこの段差を覆うことが難しくなり、上部シールドとスピバルブ型薄膜磁気素子とが電氣的に短絡する恐れが生じるため好ましくない。

【0158】このスピバルブ型薄膜磁気素子 1 では、センス電流 J (矢印 J) は主に、オーバーレイ部 34a、34a の先端 34b、34b の近傍から積層体 38 に印加される。従って、積層体 38 のなかで最もセンス電流が流れやすいのは、積層体 38 の中央であって、オーバーレイ部 34a、34a が被着されていない領域である。この領域にセンス電流が集中するため、磁気抵抗 (MR) 効果が実質的に大きくなり、磁気記録媒体の漏れ磁界の検出感度が高くなる。そこで、オーバーレイ部 34a、34a が被着されていない領域を図 1 に示すように感度領域 S と称する。一方、オーバーレイ部 34a、34a が被着されている領域では、感度領域 S に比べてセンス電流が極めて小さくなり、これにより磁気抵抗 (MR) 効果が実質的に小さくなり、磁気記録媒体の漏れ磁界の検出感度が低下する。このようにオーバーレイ部 34a、34a が被着された領域を不感領域 N と称する。

【0159】このようにリード層 34、34 の一部 (オーバーレイ部 34a、34a) を、積層体 38 のトラック幅方向両端部上にあるリード接続部 37、37 に被着させることにより、実質的に磁気記録媒体からの記録磁界の再生に寄与する部分 (感度領域 S) と、実質的に磁気記録媒体からの記録磁界の再生に寄与しない部分 (不感領域 N) とが形成され、感度領域 S の幅がスピバルブ型薄膜磁気素子 1 の磁氣的なトラック幅となり、狭トラック化に対応することが可能となる。

【0160】また、オーバーレイ部 34a、34a が、高比抵抗な第 2 反強磁性層 35 を介することなく、Cu からなる低比抵抗な第 2 非磁性導電層 8 の突出部 8a に直接接合しているため、センス電流のうち、リード接続部 37、37 を介して積層体 38 に流れる成分を大きくすることができ、これにより他の分流成分を大幅に低減することができる。とくに、リード層 34、34 からハードバイアス層 32、32 を介して、第 2 反強磁性層 35 より基板 30 側の積層体 38 に流れる分流成分が大幅に低減され、これにより不感領域 N に流れるセンス電流

が小さくなる。

【0161】したがって、センス電流を、リード層34、34が被着されていない感度領域Sに集中させることができ、感度領域Sにおける電圧変化が向上し、スピバルブ型薄膜磁気素子1の出力特性を向上できる。また、センス電流の分流成分が低減されるので、リード層34、34が被着形成されている不感領域Nでは磁気抵抗効果が実質的には発現せず、磁気記録媒体の記録トラックからの漏れ磁界を検出することがない。これにより、スピバルブ型薄膜磁気素子1のサイドリーディングを防止することができる。

【0162】なお、積層体38の感度領域Sは、マイクロトラックプロファイル法によりその範囲を決定することができる。

【0163】以下、マイクロトラックプロファイル法について、図13に基づいて説明する。図13に示すように、磁気抵抗効果を発揮する積層体と、その両側に形成されたハードバイアス層と、このハードバイアス層上に形成されて積層体に被着したリード層とを有する、本発明に係るスピバルブ型薄膜磁気素子1を基板上に形成する。

【0164】次に、光学顕微鏡または電子顕微鏡によって、電極層が覆い被さっていない積層体の上面の幅寸法Aを測定する。この幅寸法Aは光学的方法によって測定されたトラック幅Twとして定義される。

【0165】そして、磁気記録媒体上に、微小トラックとして、所定の信号を記録しておき、スピバルブ型薄膜磁気素子1を、この微小トラック上でトラック幅方向に走査させて幅寸法Aと、再生出力との関係を測定する。あるいは、微小トラックが形成された磁気記録媒体側を、スピバルブ型薄膜磁気素子上にトラック幅方向に走査させて積層体の幅寸法Aと、再生出力との関係を測定してもよい。その測定結果は、図13の下側に示されている。

【0166】この測定結果によると、積層体の中央付近では、再生出力が高くなり、前記積層体の側部付近では、再生出力が低くなることがわかる。この結果から、積層体の中央付近では、良好に磁気抵抗効果が発揮され、再生機能に關与するが、その両側部付近においては、磁気抵抗効果が悪化して再生出力が低く、再生機能が低下している。

【0167】本発明では、最大再生出力に対して50%以上の再生出力が発生する積層体の幅寸法Bで形成された領域を感度領域Sと定義し、最大再生出力に対して50%以下の再生出力しか発生しない積層体の幅寸法Cを有して形成された領域を不感領域Nとして定義する。図13に示すように感度領域Sは、実質的に磁気抵抗効果を示す領域であり、この感度領域Sの幅寸法Bが、磁気的なトラック幅寸法となる。図13に示すように、感度領域Sのトラック幅（幅寸法B）は、光学的なトラック

幅Tw（寸法A）よりも若干大きい、積層体全体の幅が零点数 μm 程度であることを鑑みると、その差は極めて小さく、実質的に同一とみなすことができる。

【0168】次に、上記のスピバルブ型薄膜磁気素子1の製造方法を図面を参照して説明する。この製造方法は、積層膜を形成する積層膜形成工程と、リフトオフレジストを形成するレジスト形成工程と、断面視略台形状の積層体を形成する積層体形成工程と、バイアス層を積層するハードバイアス層形成工程と、リード接続部形成工程と、リード層形成工程とからなる。

【0169】まず、積層膜形成工程では、図14に示したように、基板30上に下地層3、第1反強磁性層4、第1強磁性ビンド層5a、第1非磁性中間層5b、第2強磁性ビンド層5c、第1非磁性導電層6、第1拡散防止層7a、強磁性自由層7b、第2拡散防止層7c、第2非磁性導電層8、第3強磁性ビンド層9a、第2非磁性中間層9b、第4強磁性ビンド層9c、第2反強磁性層35及び保護層36を順次積層して積層膜38aを形成する。次に、レジスト形成工程では、図14に示すように、積層膜38a上にリフトオフレジストLを形成する。リフトオフレジストLは、積層膜38aに接する当接面51とこの当接面51を挟む両側面52、52とを具備してなるものであり、また当接面51と両側面52、52の間であって当接面51のトラック幅方向両側には、一対の切込部53、53が設けられている。

【0170】次に、積層体形成工程では、図15に示すように、基板30に対して角度 θ_1 の方向からArなどの不活性ガス元素のイオンビームを積層膜38aに照射し、リフトオフレジストLの両側面52、52よりも図示X1方向外側（トラック幅方向外側）にある積層膜38aを第1反強磁性層4の途中までエッチングする。このようにして断面視略台形状の積層体38を形成する。なお、積層体38の第1反強磁性層4は、この層の途中までエッチングされたことによって、その一部が残存し、図示X1方向両側に延出する延出部4a、4aを有している。

【0171】また、エッチングは、Arによるイオンミリングや、反応性イオンエッチ（RIE）等により行うことが好ましい。これらの方法は、エッチング粒子の直進性に優れており、エッチング粒子線を特定の方向から照射できる。また、イオンビームなどのエッチング粒子線の照射方向を決める角度 θ_1 は、60～85°の範囲であることが好ましい。角度 θ_1 は、例えば、イオンガンのグリッド表面と、基板30とのなす角度を調整することにより規定することができる。

【0172】このように、角度 θ_1 からエッチング粒子を照射することにより、積層膜38aに対して異方性エッチングを行うことができ、リフトオフレジストLの両側面52、52より外側にある積層膜38aをエッチングして略台形状の積層体38を形成することができる。

【0173】次に、ハードバイアス層形成工程においては、図16に示すように、基板30に対して、角度 θ_1 、(ただし $\theta_2 > \theta_1$)の方向から、スパッタ粒子を積層体38の両側に堆積することにより、バイアス下地層31とハードバイアス層32を積層する。バイアス下地層31及びハードバイアス層32は、積層体38の両側であって第1反強磁性層4の延出部4a、4a上に積層する。また、ハードバイアス層32、32は、少なくともフリー磁性層7と同じ階層位置まで積層することが好ましい。図16においては、ハードバイアス層32の上面32aがフリー磁性層7と第2非磁性導電層8の接合部と同じ位置になるようにハードバイアス層32を積層する。また、スパッタ粒子の堆積の際には、リフトオフレジストLに対してもスパッタ粒子の堆積が起き、リフトオフレジストL上に、バイアス下地層31及びハードバイアス層32と同じ組成の層31'、32'が形成する。

【0174】次に、図17に示すように、基板30に対して角度 θ_1 の方向からスパッタ粒子をハードバイアス層32、32上に堆積することによって、中間層33、33を積層する。中間層33、33は、保護層36と同じ階層位置まで積層することが好ましい。図17においては、中間層33の上面が積層体38の保護層36の上面と同じ位置になる。また、スパッタ粒子の堆積の際には、リフトオフレジストLに対してもスパッタ粒子の堆積が起き、リフトオフレジストL上に、中間層33と同じ組成の層33'が形成する。

【0175】ここでのスパッタ粒子の堆積は、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法のいずれかまたはそれらを組み合わせたスパッタ法により行うことが好ましい。これらの方法は、スパッタ粒子の直進性に優れており、スパッタ粒子を特定の方向から照射できる。また、角度 θ_1 は、70°～90°の範囲であることが好ましい。角度 θ_2 は角度 θ_1 より大きくすること、即ち基板30表面に対して角度 θ_2 を角度 θ_1 より鈍角にすることが好ましい。角度 θ_1 及び角度 θ_2 は、例えば、スパッタ用ターゲットの表面と、基板30とのなす角度を調整することにより規定することができる。

【0176】このようにスパッタ粒子を角度 θ_1 の方向から堆積することにより、バイアス下地層31、31及びハードバイアス層32、32を、リフトオフレジストLの切込部53、53の図示X1方向外側のみに積層することができる。また、ハードバイアス層32、32を、積層体38の両側面に乗り上げさせることなくフリー磁性層7と同じ階層位置に形成することができる。また、中間層33の形成を、角度 θ_1 の方向からスパッタ粒子を堆積して行うことにより、中間層33、33を積層体38の保護層36の上面と同じ位置まで形成することができる。

【0177】次に、リード接続部形成工程では、図18に示すように、基板30に対して、角度 θ_1 、(ただし $\theta_2 > \theta_1$)の方向から別のイオンビームなどのエッチング粒子線を照射する。これにより、一対の切込部53、53に対応する位置にある保護層36、第2反強磁性層35、第2固定磁性層9及び第2非磁性導電層8の一部がエッチングされて積層体38の図示X1方向両端が切欠部とされ、一対のリード接続部37、37が形成される。このとき、第2非磁性導電層8の一部がエッチングされることにより、トラック幅方向両側に延出する延出部8a、8aが形成される。またこのとき、中間層33も同時にエッチングされ、その上面が第2非磁性導電層8の延出部8a、8aの上面と同じ階層位置までエッチングされる。

【0178】また、エッチングは、Arによるイオンミリングや、反応性イオンエッチング(RIE)等により行うことが好ましい。これらの方法は、エッチング粒子の直進性に優れており、エッチング粒子線を特定の方向から照射できる。また、エッチング粒子の照射方向を決める角度 θ_3 は、40°～70°の範囲であることが好ましい。角度 θ_1 は、角度 θ_2 や角度 θ_3 より小さくすること、即ち基板30の表面に対して角度 θ_2 を角度 θ_1 や角度 θ_3 より鋭角にすることが好ましい。角度 θ_3 は、例えば、イオンガンのグリッドの表面と、基板30とのなす角度を調整することにより規定することができる。

【0179】このように、角度 θ_1 、 θ_2 より鋭角な角度 θ_3 の方向からイオンビームなどのエッチング粒子を照射することにより、リフトオフレジストLの切込部53、53に対応する位置にある積層体38までイオンビームを照射することができ、積層体38の一部に切欠部を設けてリード接続部37、37を形成することができる。

【0180】また、各リード接続部37の図示X1方向の幅Mは、リフトオフレジストLの各切込部53の図示X1方向の幅M'により規定される。図18においては、リード接続部37の図示X1方向の幅Mは、切込部53の図示X1方向の幅M'よりも若干大きくなっているが、積層体38全体の幅が零点数 μm 程度であることを鑑みると、幅Mと幅M'の差は小さく、実質的に同一であるとみなすことができる。したがって、リード接続部37の図示X1方向の幅Mを、切込部53の図示X1方向の幅M'によって規定できるので、リード接続部37の図示X1方向の幅寸法を精密に制御することができ、リード接続部37におけるリード層34の接触面積を制御してセンス電流を効率よく積層体38に印加できるように構成することができる。

【0181】さらに、エッチングの際に積層体38から叩き出されたスパッタ粒子種を2次イオン質量スペクトル分析法により分析してエッチングの終点を検出することが好ましい。例えば、第3強磁性ビンド層9aをFe

Ni合金、第2非磁性導電層をCuでそれぞれ構成した場合、エッチングを行うことにより、第3強磁性ピン層9aを構成するFe、Niのスバッタ粒子が叩き出された後に、第2非磁性導電層8を構成するCuが叩き出されるので、2次イオン質量スペクトル分析法によりCuを検出してから所定の時間経過後にエッチングを停止すれば、第2非磁性導電層8の一部までエッチングした時点でリード接続部37の形成を止めることができる。これにより、リード接続部37形成時のエッチングの精度を高くすることができ、リード接続部37、37を精度良く形成できる。

【0182】そして、リード層形成工程では、図19に示すように、基板30に対して、角度 θ_1 の方向からさらに別のスバッタ粒子を堆積することにより、リード層34、34を積層する。リード層34、34は、中間層33、33及び第2非磁性導電層8の延出部8a、8a上に積層される。このようにして、積層体38のX1方向両側から積層体38の中央に延出し、リード接続部37、37にてこの積層体38に接続するリード層34、34が形成される。このリード層34、34の形成は、

オーバーレイ部34a、34a表面と積層体38表面とのなす角 θ_2 が、45度～70度の範囲となるように形成される。また、スバッタ粒子の堆積の際には、リフトオフレジストLに対してもスバッタ粒子の堆積が起き、リフトオフレジストL上に、リード層34と同じ組成の層34'が形成する。

【0183】スバッタ粒子の堆積は、イオンビームスバッタ法、ロングスロースバッタ法、コリメーションスバッタ法のいずれかまたはそれらを組み合わせたスバッタ法により行うことが好ましい。これらの方法は、スバッタ粒子の直進性に優れており、スバッタ粒子を特定の方向から照射できる。また、スバッタ粒子の照射方向を決める角度 θ_1 はリード接続部形成工程の際におけるイオンビームの照射角度とほぼ同じにすることが好ましい。角度 θ_1 は、例えばスバッタ用ターゲットの表面と、基板30とのなす角度を調整することにより規定することができる。

【0184】このように、角度 θ_1 からスバッタ粒子を堆積することにより、リフトオフレジストLの切込部53、53に対応する位置にあるリード接続部37、37上にリード層34、34を積層することができ、リード層34、34のオーバーレイ部34a、34aを第2非磁性導電層8の延出部8a、8aに直接に接合させることができる。

【0185】最後に、リフトオフレジストLを除去し、磁場中アニール処理等を行って、第1、第2反強磁性層4、35に交換結合磁界を発現させて第1、第2固定磁性層5、9の磁化方向を固定するとともに、ハードバイアス層32、32を着磁することによってバイアス磁界を発現させてフリー磁性層7の磁化方向を図示X1方向

に揃えさせることにより、図1に示すようなスピンバルブ型薄膜磁気素子1が得られる。

【0186】上記のスピンバルブ型薄膜磁気素子1の製造方法によれば、角度 θ_1 の方向からイオンビームなどのエッチング粒子を照射して断面視略台形状の積層体38を形成し、さらに角度 θ_2 ($\theta_2 > \theta_1$)の方向から別のスバッタ粒子を照射して、リフトオフレジストLの切込部53、53に対応する位置に一对のリード接続部37、37を形成するので、1つのリフトオフレジストLによって積層体38の形成とリード接続部37、37の形成を行うことができ、スピンバルブ型薄膜磁気素子1の製造工程を短縮化することができる。

【0187】このようなスピンバルブ型薄膜磁気素子1は、積層体38の両側から中央部分に向けて積層体38の表面に延出するオーバーレイ部34a、34aを備えたリード層34を有しているため、積層体38の中央部分は感度領域Sとされ、オーバーレイ部34a、34aの下側に位置する積層体38の両側部分は不感領域Nとされるため、感度領域Sの幅をトラック幅とすることができ、したがって、トラック幅を狭くすることができ、記録密度の高密度化を目的とした狭トラック化に対応することが可能となる。

【0188】しかも、このスピンバルブ型薄膜磁気素子1は、リード層34、34の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さをH12、リード層34、34のシート抵抗値をRs12、積層体38の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さをHg2、前記積層体のシート抵抗値をRsg2としたとき、 $(Rs12/H12)/(Rsg2/Hg2) \leq 0.02$ で示される関係を有するものであるため、オーバーレイ部34a、34aから流れ込むセンス電流への抵抗を低減することができ、ハードバイアス層32を経由して流れ込むセンス電流の分流を少なくすることができる。その結果、積層体のオーバーレイ部34a、34aの下方に位置する不感領域Nに流れるセンス電流が少なくなり、不感領域Nでの磁気抵抗変化が実質的に発現しなくなるので、スピンバルブ型薄膜磁気素子1のサイドリーディングを防止することが可能となる。また、センス電流の分流を少なくすることができ、センス電流を、積層体38の中央部分に位置する感度領域Sに集中させることができるので、感度領域Sにおける抵抗変化率が実質的に向上し、スピンバルブ型薄膜磁気素子1の出力特性を向上させることが可能となる。

【0189】さらに、このスピンバルブ型薄膜磁気素子1は、前記H12と、前記Rs12と、前記Hg2と、前記Rsg2との関係において、 $(Rs12/H12)/(Rsg2/Hg2) \leq 0.01$ で示される関係を有するものであるため、オーバーレイ部34a、34aから流れ込むセンス電流への抵抗をより一層低減すること

ができ、ハードバイアス層32を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。

【0190】また、このスピバルブ型薄膜素子1は、リード層34、34の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さを H_{12} 、リード層34、34のシート抵抗値を R_{s12} 、積層体38の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さ H_{g2} を $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲、積層体38のシート抵抗値を R_{sg2} を $15 \sim 25 \Omega/\square$ の範囲としたとき、リード層のX1方向の単位長さあたりの抵抗値 $(R_{s12}/H_{12}) \leq 1 \Omega/\mu\text{m}$ で示される関係を有しているの、オーバーレイ部34a、34aから流れ込むセンス電流への抵抗を低減することができ、ハードバイアス層32を経由して流れ込むセンス電流の分流を少なくすることができる。

【0191】さらに、このスピバルブ型薄膜素子1は、前記 H_{12} と、前記 R_{s12} との関係において、前記 H_{g2} を $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲、前記 R_{sg2} を $15 \sim 25 \Omega/\square$ の範囲としたとき、 $(R_{s12}/H_{12}) \leq 0.5 \Omega/\mu\text{m}$ で示される関係を有するものであるの、オーバーレイ部34a、34aから流れ込むセンス電流への抵抗を低減することができ、ハードバイアス層32を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。

【0192】さらに、このスピバルブ型薄膜磁気素子1においては、リード層34、34のオーバーレイ部34a、34a表面と積層体38表面とのなす角 θ_2 は、 $45^\circ \sim 70^\circ$ の範囲とされているので、オーバーレイ部34a、34aから流れ込むセンス電流への抵抗をより一層低減することができ、ハードバイアス層32を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。

【0193】上述したように、このスピバルブ型薄膜素子1は、ハードバイアス層32を経由して流れ込むセンス電流の分流が少ないものとなり、スピバルブ型薄膜磁気素子1のサイドリーディングをより一層効果的に防止することができるものとなる。また、感度領域Sにおける微小磁界における実質的な抵抗変化率がより一層向上し、スピバルブ型薄膜磁気素子1の出力特性をより一層向上させることが可能となる。

【0194】本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子においては、電極層の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さを H_1 、電極層のシート抵抗値を R_{s1} 、積層体の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さを H_g 、前記積層体のシート抵抗値を R_{sg} としたとき、 $(R_{s1}/H_1)/(R_{sg}/H_g) \leq 0.02$ で示される関係を有し、かつ、電極層の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延

出する長さを H_1 、電極層のシート抵抗値を R_{s1} 、積層体の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さ H_g を $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲、積層体のシート抵抗値を R_{sg} を $15 \sim 25 \Omega/\square$ の範囲としたとき、電極層のX1方向の単位長さあたりの抵抗値 $(R_{s1}/H_1) \leq 1 \Omega/\mu\text{m}$ で示される関係を有するものとするのが好ましいが、いずれか一方のみの関係を有するものとしてもよい。

【0195】また、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子においては、上述した例に示したように、バイアス層としてハードバイアス層を設けたものとしてもよいが、バイアス層として強磁性層と反強磁性層とが積層されるエキスチェンジバイアス層などを設けたものとしてもよく、とくに限定されない。

【0196】また、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子においては、上述した例に示したように、固定磁性層とフリー磁性層のいずれか一層以上が、非磁性中間層を介して2つに分断され、分断された層どうして磁化の向きが 180° 異なるフェリ磁性状態とされてなるものであってもよいし、固定磁性層とフリー磁性層の全てがフェリ磁性状態とされていないものであってもよい。

【0197】また、本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子においては、第1実施形態に示したように、平均自由行程延長層としてバック層を設けたものとしてもよいし、第2実施形態に示したように、平均自由行程延長層として鏡面反射層を設けたものとしてもよいし、第3実施形態に示したように、平均自由行程延長層を設けないものとしてもよい。

【0198】また、例えば、フリー磁性層に接続されたバック層の前記フリー磁性層と接する面の反対側に鏡面反射層を積層することにより、バック層と鏡面反射層の両方を設けたものとしてもよい。このようなスピバルブ型薄膜磁気素子とすることにより、バック層のスピフィルター効果と鏡面反射層の鏡面反射効果による磁気抵抗変化率の向上効果とを同時に発揮させることができる。このように平均自由行程延長層として、バック層と鏡面反射層の両方を設けたものとした場合、鏡面反射層の厚さおよびバック層の厚さは、両者を含めた平均自由行程延長層全体の膜厚として設定されることが望ましい。

【0199】平均自由行程延長層の膜厚、つまりバック層の膜厚は、 $5 \sim 30$ オングストロームの範囲とすることができる。この平均自由行程延長層としての膜厚が、 5 オングストロームよりも薄い値に設定されると、平均自由行程の延長効果が十分に得られず、スピバルブ型薄膜磁気素子の再生出力特性が悪化するため、好ましくない。また、鏡面反射層の上限は、再生ギャップ長から決まり、概ね 500 オングストローム以下である必要がある。

【0200】このように設定することにより、鏡面反射層は、バック層と鏡面反射層との界面付近においてポテンシャル障壁を形成し、バック層を移動するアップスピンの伝導電子を、バック層と鏡面反射層との界面付近においてスピンの状態を保存したまま反射させることができ、アップスピンの伝導電子の平均自由行程をさらに延ばして、前述したように、いわゆる鏡面反射効果を示す。また、平均自由行程延長層の膜厚の設定により、バック層のスピンフィルター効果により平均自由行程の延びたアップスピンの伝導電子を、バック層と鏡面反射層との界面付近で鏡面反射することができるので、アップスピンの伝導電子の平均自由行程をさらに延ばすことが可能となり、いわゆる鏡面反射効果を示すために、磁気抵抗変化率をより高くすることができる。

【0201】次に、本発明の薄膜磁気ヘッドについて詳しく説明する。図20は、本発明の薄膜磁気ヘッドの一例を示した斜視図である。この薄膜磁気ヘッドは、ハードディスク装置などの磁気記録媒体に搭載される浮上式のものである。この薄膜磁気ヘッドのスライダ251は、図20において符号235で示す側がディスク面の移動方向の上流側に向くリーディング側で、符号236で示す側がトレーリング側である。このスライダ251のディスクに対向する面では、レール状のABS面（エアベアリング面：レール部の浮上面）251a、251bと、エアグループ251c、251dとが形成されている。そして、このスライダ251のトレーリング側の端面251dには、磁気コア部250が設けられている。

【0202】この例で示す薄膜磁気ヘッドの磁気コア部250は、図21および図22に示す構造の複合型磁気ヘッドであり、スライダ251のトレーリング側端面251d上に、MRヘッド（読出ヘッド）h1と、インダクティブヘッド（書込ヘッド）h2とが順に積層されて構成されている。

【0203】この例のMRヘッドh1は、基板を兼ねるスライダ251のトレーリング側端面に形成された磁性合金からなる下部シールド層253上に、下部ギャップ層254が設けられている。そして、下部ギャップ層254上には、磁気抵抗効果素子層245が積層されている。この磁気抵抗効果素子層245上には、上部ギャップ層256が形成され、その上に上部シールド層257が形成されている。この上部シールド層257は、その上に設けられるインダクティブヘッドh2の下部コア層と兼用にされている。このMRヘッドh1は、ハードディスクのディスクなどの磁気記録媒体からの微小の漏れ磁界の有無により、磁気抵抗効果素子層245の抵抗を変化させ、この抵抗変化を読み取ることで記録媒体の記録内容を読み取るものである。

【0204】前記MRヘッドh1に設けられている磁気抵抗効果素子層245には、上述したスピンバルブ型薄

膜磁気素子が備えられている。前記スピンバルブ型薄膜磁気素子は、薄膜磁気ヘッド（再生用ヘッド）を構成する最も重要なものである。

【0205】また、インダクティブヘッドh2は、下部コア層257の上に、ギャップ層264が形成され、その上に平面的に螺旋状となるようにパターン化されたコイル層266が形成されている。前記コイル層266は、第1の絶縁材料層267Aおよび第2の絶縁材料層267Bに囲まれている。第2絶縁材料層267Bの上に形成された上部コア層268は、ABS面251bにて、その磁極端部268aを下部コア層257に、磁気ギャップGの厚みをあけて対向させ、図21および図22に示すように、その基端部268bを下部コア層257と磁気的に接続させて設けられている。また、上部コア層268の上には、アルミナなどからなる保護層269が設けられている。

【0206】このようなインダクティブヘッドh2では、コイル層266に記録電流が与えられ、コイル層266からコア層に記録磁束が与えられる。そして、前記インダクティブヘッドh2は、磁気ギャップGの部分での下部コア層257と上部コア層268の先端部からの漏れ磁界により、ハードディスクなどの磁気記録媒体に磁気信号を記録するものである。

【0207】本発明の薄膜磁気ヘッドを製造するには、まず、図21に示す磁性材料製の下部シールド層253上に下部ギャップ層254を形成した後、磁気抵抗効果素子層254を形成する前記スピンバルブ型薄膜磁気素子を成膜する。その後、前記スピンバルブ型薄膜磁気素子の上に、上部ギャップ層256を介して上部シールド層257を形成すると、MRヘッド（読出ヘッド）h1が完成する。続いて、前記MRヘッドh1の上部シールド層257と兼用である下部コア層257の上に、ギャップ層264を形成し、その上に螺旋状のコイル層266を、第1の絶縁材料層267Aおよび第2の絶縁材料層267Bで囲むように形成する。さらに、第2絶縁材料層267Bの上に上部コア層268を形成し、上部コア層268の上に、保護層269を設けることによって薄膜磁気ヘッドとされる。

【0208】このような薄膜磁気ヘッドは、上述したスピンバルブ型薄膜磁気素子が備えられてなる薄膜磁気ヘッドであるので、磁気情報の再生出力が高く、サイドリーディング発生の確率が低い薄膜磁気ヘッドとなる。

【0209】なお、薄膜磁気ヘッドのスライダ部分の構成およびインダクティブヘッドの構成は、図20～図22に示すものに限定されず、その他の種々の構造のスライダおよびインダクティブヘッドを採用することができるのは勿論である。

【0210】（実施例）図1に示す第1実施形態と同様の構造を有するスピンバルブ型薄膜磁気素子を表1に示す条件で製造し、実施例1～実施例15および従来例1

10

20

30

40

50

～従来例3とした。

*【表1】

【0211】

*

		電極厚み 厚み t (Å)	電極長さ H ₁ (μm)	電極比抵抗 ρ ₁ (μΩcm)	電極シート抵抗 R _{s1} (Ω/□)	電極角度 θ (deg)	R _{s1} /H ₁ (Ω/μm)	GMR 素子長さ H _g (μm)	GMR シート抵抗 R _{sg} (Ω/□)	R _{sg} /H _g (Ω/μm)	R _{s1} /H ₁ R _{sg} /H _g	オフトラック位置での相対出力	実効トラック幅 (μm)
実施例	1	900	1.8	7	0.7	90	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.0086	0.362
	2	900	1.8	7	0.7	45	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.0088	0.365
	3	900	1.8	7	0.7	30	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.0084	0.370
	4	900	1.8	7	0.7	20	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.009	0.374
	5	900	1.8	18.5	2.0	90	1.1	0.3	19.96	66.53	0.017	0.0248	0.367
	6	900	1.8	18.5	2.0	20	1.1	0.3	19.96	66.53	0.017	0.0239	0.392
	7	900	1.8	18.5	2.0	30	1.1	0.3	19.96	66.53	0.017	0.0242	0.385
	8	900	1.8	18.5	2.0	45	1.1	0.3	19.96	66.53	0.017	0.0245	0.377
	9	450	5	18.5	4.1	90	0.8	0.3	19.96	66.53	0.012	0.0185	0.365
	10	450	5	18.5	4.1	90	0.8	0.4	19.96	49.9	0.016	0.0217	0.376
	11	450	5	18.5	4.1	90	0.8	0.5	19.96	39.92	0.020	0.0244	0.385
	12	900	5	18.5	2.0	90	0.4	1	19.96	19.96	0.020	0.0245	0.415
	13	900	5	18.5	2.0	90	0.4	0.5	19.96	39.92	0.010	0.0088	0.381
	14	900	5	18.5	2.0	90	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.0082	0.362
	15	450	1.8	3.5	0.7	90	0.4	0.3	19.96	66.53	0.006	0.009	0.362
従来例	1	900	1.8	18.5	2.0	90	1.1	0.5	19.96	39.92	0.028	0.0331	0.387
	2	900	1.8	18.5	2.0	90	1.1	0.7	19.96	28.51	0.040	0.0408	0.403
	3	450	5	18.5	4.1	90	0.8	1	19.96	19.96	0.041	0.0399	0.425

【0212】表1において、「電極の厚み」とは、図1において符号tで示した寸法のことであり、磁気記録媒体との対向面から測定される電極層の厚みのことである。また、「電極長さ」とは、電極層の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さのことであり、「電極シート抵抗」とは、電極層の比抵抗を電極層の厚みで割った値のことである。「GMR素子長さ」とは、積層体の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さのことであり、一般的には、「素子高さ」ともいう。また、「GMRシート抵抗」とは、積層体の比抵抗を積層体の総厚で割った値のことである。また、「電極角度」とは、電極層のオーバーレイ部表面と積層体表面とのなす角のことである。また、ここでの「オフトラック位置での相対出力」とは、スピナル型薄膜磁気素子の素子中心から±0.7μmの位置（オフトラック位置）での再生出力の平均値を素子中心の再生出力の値で割った値のことである。また、「実効トラック幅」とは、最大再生出力に対して50%以上の再生出力が発生する積層体の幅寸法のことであり、マイクロトラックプロファイル法により決定した。

【0213】実施例1～実施例15および従来例1～従来例3のスピナル型薄膜磁気素子の積層体16における各層の膜厚は、下から、Ta30/PtMn150/Co20/Ru8/Co25/Cu25/Co10/NiFe30/Cu15/Ta30（各数字はそれぞれの膜厚のオングストローム単位に対応する）に設定されている。また、図1におけるトラック幅Twの寸法を0.35μmとして形成し、トラック幅Twの寸法とその両側のオーバーレイ部18a、18aの幅寸法T、Tとを合わせた幅の寸法を2.0μmとして形成した。

【0214】このようにして得られた実施例1～実施例15および従来例1～従来例3のスピナル型薄膜磁

気素子の(Rs1/H1)/(Rsg/Hg)と実効トラック幅との関係を調べた。その結果を図25に示す。

図25より、(Rs1/H1)/(Rsg/Hg)が好ましい範囲である0.02以下のスピナル型薄膜磁気素子は、実効トラック幅が狭くなっていることがわかる。さらに、(Rs1/H1)/(Rsg/Hg)がより好ましい範囲である0.01以下のスピナル型薄膜磁気素子は、実効トラック幅がより一層狭くなっていることが確認できた。

【0215】さらに、実施例1～実施例15および従来例1～従来例3のスピナル型薄膜磁気素子の(Rs1/H1)/(Rsg/Hg)とオフトラック位置での相対出力との関係を調べた。その結果を図26に示す。図26より、(Rs1/H1)/(Rsg/Hg)が好ましい範囲である0.02以下のスピナル型薄膜磁気素子は、オフトラック位置での相対出力が小さくなっていることがわかる。さらに、(Rs1/H1)/(Rsg/Hg)がより好ましい範囲である0.01以下のスピナル型薄膜磁気素子は、オフトラック位置での相対出力がより一層小さくなっていることが確認できた。

【0216】また、実施例1～実施例15および従来例1～従来例3のスピナル型薄膜磁気素子の(Rs1/H1)とオフトラック位置での相対出力との関係を調べた。その結果を図27に示す。図27には、表1に示した実施例のうち、Hgが0.3～0.5μmのもののみプロットしてある。図27より、(Rs1/H1)が好ましい範囲である1Ω/μm以下のスピナル型薄膜磁気素子は、オフトラック位置での相対出力が小さくなっていることがわかる。さらに、(Rs1/H1)がより好ましい範囲である0.5Ω/μm以下のスピナル型薄膜磁気素子は、オフトラック位置での相対出力がより一層小さくなっていることが確認できた。

【0217】さらに、実施例1～実施例8のスピバルブ型薄膜磁気素子を用いて、電極角度 θ と実効トラック幅との関係を調べた。その結果を図28に示す。図28において、符号■は、実施例1～実施例4の結果を示し、符号◆は、実施例5～実施例8の結果を示している。図28より、電極角度が好ましい範囲である45度～70度では、実効トラック幅が狭くなっていることがわかる。また、45度よりも小さい場合、急激にトラック幅が広がっていることがわかる。また、 $(R_{s1}/H1)/(R_{sg}/Hg)$ の値がより好ましい範囲である0.01未満となっている実施例1～実施例4は、 $(R_{s1}/H1)/(R_{sg}/Hg)$ の値が0.01以上である実施例5～実施例8と比較して、実効トラック幅が狭くなっていることがわかる。

【0218】また、実施例1、実施例13および従来例1のスピバルブ型薄膜磁気素子について、マイクロトラックプロファイル法により再生出力を測定した。その結果を図29、図30、図31に示す。図29は、実施例1の再生出力相対値を示したグラフであり、図30は、実施例13の再生出力相対値を示したグラフであり、図31は、従来例1の再生出力相対値を示したグラフである。

【0219】図29および図30と図31とを比較すると、図31に示した従来例の再生出力相対値では、素子中心から $\pm 0.7 \mu m$ の位置（オフトラック位置）で感度を持っているが、図29および図30に示した実施例1および実施例13の再生出力相対値では、感度を持っていないことがわかる。このことより、実施例1および実施例13は、従来例1と比較して、サイドリーディングが発生しにくいことが確認できた。

【0220】

【発明の効果】本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、積層体の両側から中央部分に向けて積層体の表面に延出するオーバーレイ部を備えた電極層を有しているので、積層体の中央部分は感度領域とされ、オーバーレイ部の下側に位置する積層体の両側部分は不感領域とされるため、感度領域の幅をトラック幅とすることができる。したがって、トラック幅を狭くすることができ、記録密度の高密度化を目的とした狭トラック化に対応することが可能となる。

【0221】しかも、このスピバルブ型薄膜磁気素子は、電極層の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さを $H1$ 、電極層のシート抵抗値を R_{s1} 、積層体の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さを Hg 、前記積層体のシート抵抗値を R_{sg} としたとき、 $(R_{s1}/H1)/(R_{sg}/Hg) \leq 0.02$ で示される関係を有するものであるため、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗を低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流

を少なくすることができる。その結果、積層体のオーバーレイ部の下方に位置する不感領域に流れるセンス電流が少なくなり、不感領域での磁気抵抗変化が実質的に発現しなくなるので、スピバルブ型薄膜磁気素子のサイドリーディングを防止することが可能となる。

【0222】また、センス電流の分流を少なくすることができ、センス電流を、積層体の中央部分に位置する感度領域に集中させることができるので、感度領域における抵抗変化率が実質的に向上し、スピバルブ型薄膜磁気素子の出力特性を向上させることが可能となる。

【0223】さらに、このスピバルブ型薄膜磁気素子は、前記 $H1$ と、前記 R_{s1} と、前記 Hg と、前記 R_{sg} との関係において、 $(R_{s1}/H1)/(R_{sg}/Hg) \leq 0.01$ で示される関係を有するものであるため、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗をより一層低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。

【0224】また、このスピバルブ型薄膜素子は、電極層の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さを $H1$ 、電極層のシート抵抗値を R_{s1} 、積層体の磁気記録媒体との対向面から内部方向に向かって垂直方向に延出する長さすなわち素子高さ Hg を $0.2 \sim 0.5 \mu m$ の範囲、積層体のシート抵抗値 R_{sg} を $15 \sim 25 \Omega/\square$ の範囲としたとき、電極層のトラック幅方向の単位長さあたりの抵抗値 $(R_{s1}/H1) \leq 1 \Omega/\mu m$ で示される関係を有しているため、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗を低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流を少なくすることができる。

【0225】さらに、このスピバルブ型薄膜素子は、前記 $H1$ と、前記 R_{s1} との関係において、前記 Hg を $0.2 \sim 0.5 \mu m$ の範囲、前記 R_{sg} を $15 \sim 25 \Omega/\square$ の範囲としたとき、 $(R_{s1}/H1) \leq 0.5 \Omega/\mu m$ で示される関係を有するものであるため、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗をより一層低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。

【0226】さらに、このスピバルブ型薄膜磁気素子においては、電極層の前記オーバーレイ部表面と積層体表面とのなす角が、45度～70度の範囲とされているため、オーバーレイ部から流れ込むセンス電流への抵抗をより一層低減することができ、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流をより一層少なくすることができる。

【0227】上述したように、このスピバルブ型薄膜素子は、バイアス層を経由して流れ込むセンス電流の分流が少ないものとなり、スピバルブ型薄膜磁気素子のサイドリーディングをより一層効果的に防止することができるものとなる。また、感度領域における抵抗変化率

が実質的により一層向上し、スピンバルブ型薄膜磁気素子の出力特性をより一層向上させることが可能となる。

【0228】また、前記フリー磁性層の厚さ方向両側に、各々非磁性導電層と固定磁性層と反強磁性層とが形成されたデュアル型構造とされてなるスピンバルブ型薄膜磁気素子とすることで、フリー磁性層／非磁性導電層／固定磁性層の3層の組合わせを2組有するものとなり、シングルスピンバルブ型薄膜磁気素子と比較して、大きな $\Delta R/R$ （抵抗変化率）が得られ、高密度記録化に対応できるものとする事ができる。

【0229】さらに、伝導電子の平均自由行程を延長するための平均自由行程延長層が形成されたスピンバルブ型薄膜磁気素子とすることで、大きな $\Delta R/R$ （抵抗変化率）が得られ、高密度記録化に対応できるものとする事ができる。

【0230】また、少なくとも固定磁性層が非磁性中間層を介して2つに分断されたスピンバルブ型薄膜素子とすることにより、2つに分断された固定磁性層のうち一方が他方の固定磁性層を適正な方向に固定する役割を担い、固定磁性層の状態を非常に安定した状態に保つことが可能となる。さらにまた、少なくともフリー磁性層が非磁性中間層を介して2つに分断されたスピンバルブ型薄膜素子とすることにより、2つに分断されたフリー磁性層どうしの間に交換結合磁界が発生し、フェリ磁性状態とされ、外部磁界に対して感度よく回転できるものとなる。

【0231】さらに、反強磁性層が、Pt、Pd、Rh、Ru、Ir、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素と、Mnとを含む合金からなるスピンバルブ型薄膜素子とすることで、交換結合磁界が高く、耐食性に優れ、比較的高い温度でも充分な交換結合磁界を発現する反強磁性層となるので、スピンバルブ型薄膜磁気素子の動作を安定化させることが可能になり、特に比較的高温下での動作を安定化させることが可能となる。

【0232】本発明の薄膜磁気ヘッドは、上記のいずれかに記載のスピンバルブ型薄膜磁気素子を備えたものであるので、磁気情報の再生出力が高く、サイドリーディング発生確率が低い薄膜磁気ヘッドを構成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係るスピンバルブ型薄膜磁気素子の第1実施形態を記録媒体との対向面側から見た場合の構造を示した断面図である。

【図2】 図1に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、基板上の積層膜にリストオフレジストを形成した状況を示す断面図である。

【図3】 図1に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、積層体を形成

した状況を示す断面図である。

【図4】 図1に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、ハードバイアス層を形成した状況を示す断面図である。

【図5】 図1に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、積層体表面の一部を除去した状況を示す断面図である。

【図6】 図1に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、電極層を形成した状況を示す断面図である。

【図7】 スピンバルブ型薄膜磁気素子において、バックド層によるスピンフィルター効果への寄与を説明するための模式説明図であり、図7(a)は、バックド層のないスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す断面図であり、図7(b)は、本実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す断面図である。

【図8】 スピンバルブ型薄膜磁気素子のフリー磁性層の変動磁化方向の規定について説明する模式説明図である。

【図9】 スピンバルブ型薄膜磁気素子のバックド層によって、センス電流磁界からフリー磁性層の変動磁化Mへの寄与の減少について説明する図であり、図9(a)は、バックド層のないスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す媒体対向面(ABS面)に垂直な横断面図であり、図9(b)および図9(c)は、本実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す媒体対向面(ABS面)に垂直な横断面図である。

【図10】 本発明に係るスピンバルブ型薄膜磁気素子の第2実施形態を記録媒体との対向面側から見た場合の構造を示した断面図である。

【図11】 スピンバルブ型薄膜磁気素子において、鏡面反射層による鏡面反射効果への寄与を説明するための模式説明図であり、図11(a)は、鏡面反射層のないスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す断面図であり、図11(b)は、本実施形態におけるスピンバルブ型薄膜磁気素子の例を示す断面図である。

【図12】 本発明に係るスピンバルブ型薄膜磁気素子の第3実施形態を記録媒体との対向面側から見た場合の構造を示した断面図である。

【図13】 マイクロトラックプロファイル法の測定方法を説明するための模式図である。

【図14】 図12に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、積層膜形成工程及びレジスト形成工程を示す工程図である。

【図15】 図12に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、積層体形成工程を示す工程図である。

【図16】 図12に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、バイアス層形成工程を示す工程図である。

【図17】 図12に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、バイアス層形成工程を示す工程図である。

【図18】 図12に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための図であって、リード接続部形成工程を示す工程図である。

【図19】 図12に示したスピンバルブ型薄膜磁気素子の他の製造方法を説明するための図であって、リード層形成工程を示す工程図である。

【図20】 本発明の薄膜磁気ヘッドの一例を示した斜視図である。

【図21】 図20に示した薄膜磁気ヘッドの磁気コア部を示した断面図である。

【図22】 図21に示した薄膜磁気ヘッドを示した概略斜視図である。

【図23】 スピンバルブ型薄膜磁気素子の積層体に占める感度領域と不感度領域との測定方法を示す模式図である。

【図24】 従来のスピンバルブ型薄膜磁気素子の一例を記録媒体との対向面側から見た場合の構造を示した断面図である。

【図25】 $(R_{s1}/H1)/(R_{sg}/H_g)$ と実効トラック幅との関係を示したグラフである。

【図26】 $(R_{s1}/H1)/(R_{sg}/H_g)$ とオフトラック位置での相対出力との関係を示したグラフである。

【図27】 $(R_{s1}/H1)$ とオフトラック位置での相対出力との関係を調べたグラフである。

【図28】 電極角度 θ と実効トラック幅との関係を調べたグラフである。

【図29】 実施例1のマイクロトラックプロファイルを示したグラフである。

【図30】 実施例13のマイクロトラックプロファイルを示したグラフである。

【図31】 従来例1のマイクロトラックプロファイル *

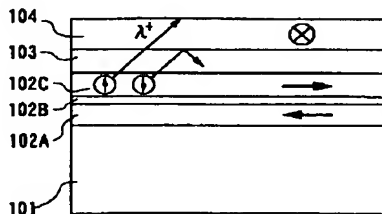
* ルを示したグラフである。

【符号の説明】

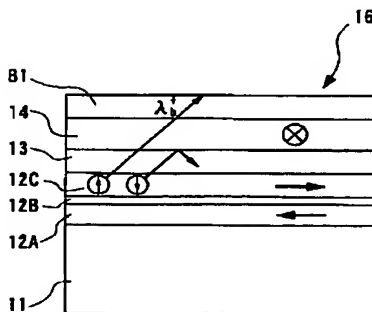
- 1 スピンバルブ型薄膜磁気素子
- 4 第1反強磁性層
- 5 第1固定磁性層
- 5a 第1強磁性ビンド層（強磁性ビンド層）
- 5b 第1非磁性中間層（非磁性中間層）
- 5c 第2強磁性ビンド層（強磁性ビンド層）
- 6 第1非磁性導電層
- 8 第2非磁性導電層
- 9 第2固定磁性層
- 9a 第3強磁性ビンド層（強磁性ビンド層）
- 9b 第2非磁性中間層（非磁性中間層）
- 9c 第4強磁性ビンド層（強磁性ビンド層）
- 36 第2反強磁性層
- 10, 30, 40 基板
- 11, 41 反強磁性層
- 12A, 42A 第1の固定磁性層
- 12B, 42B 非磁性中間層
- 12C, 42C 第2の固定磁性層
- 13, 43 非磁性導電層
- 7, 14, 44 フリー磁性層
- 44A 第2フリー磁性層
- 44B 非磁性中間層
- 44C 第1フリー磁性層
- 15, 36, 45 保護層
- 16, 38, 46 積層体
- 17, 32, 47 ハードバイアス層
- 18, 34, 48 電極層（リード層）
- 18a, 34a, 48a オーバーレイ部
- 19, 33, 49 中間層
- 74, 76 ターゲット
- B1 バックド層（平均自由行程延長層）
- S1 鏡面反射層（平均自由行程延長層）

【図7】

(a)



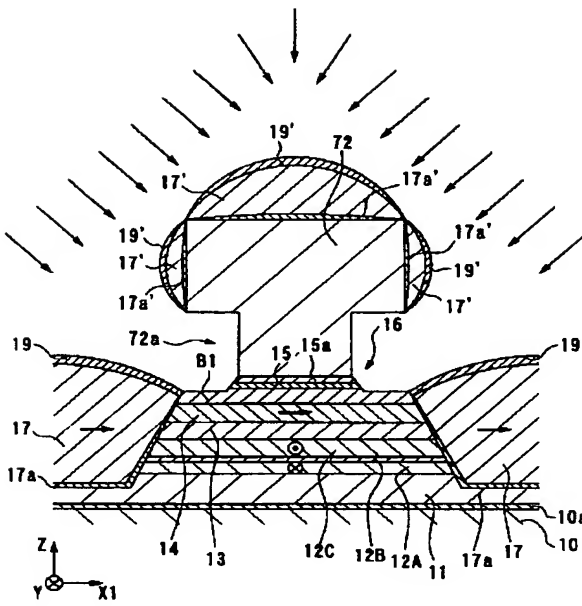
(b)



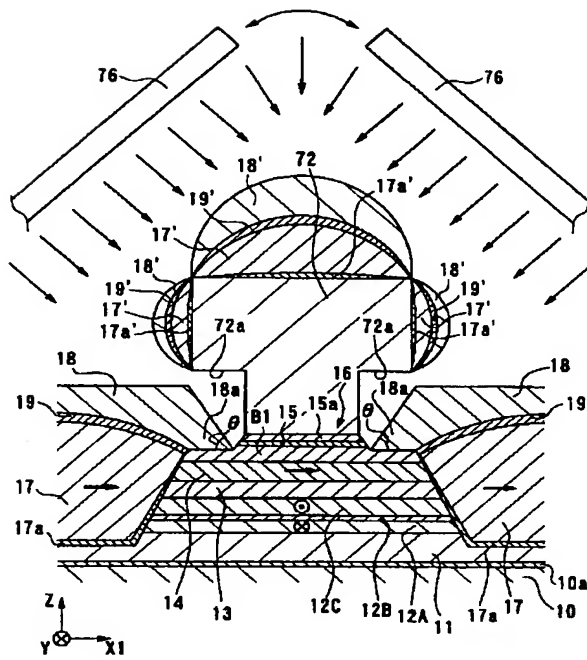
(31)

特開2002-76472

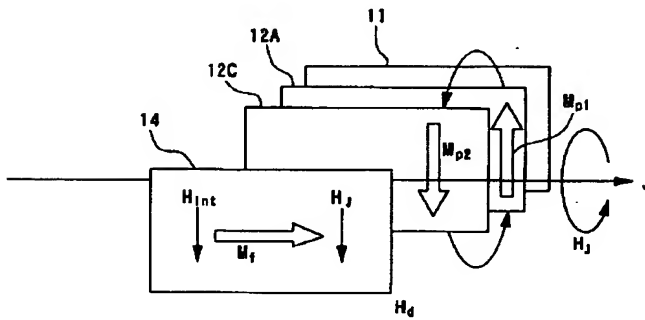
【図5】



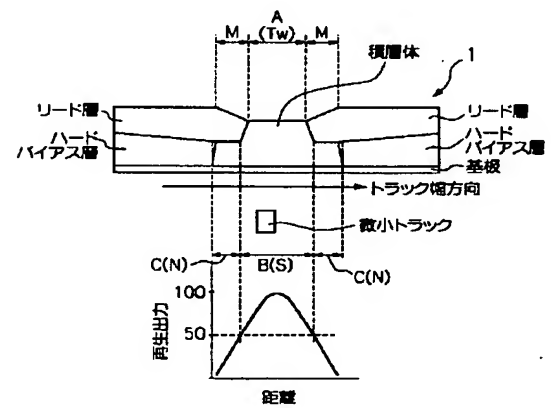
【図6】



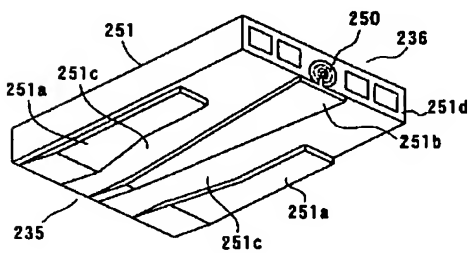
【図8】



【図13】



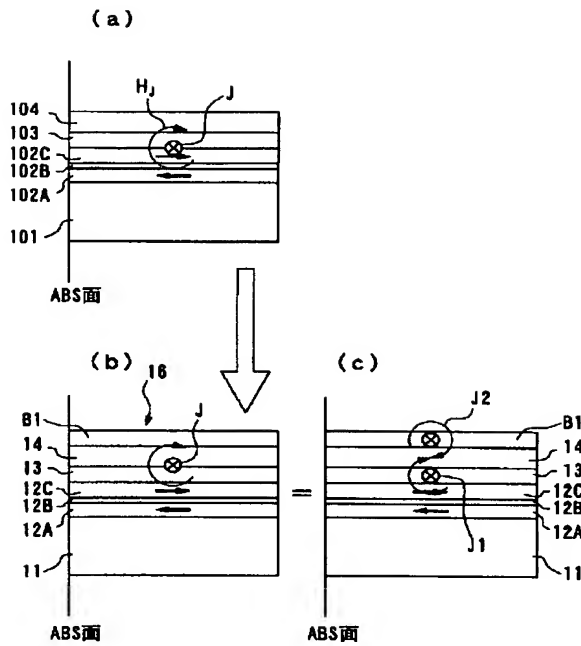
【図20】



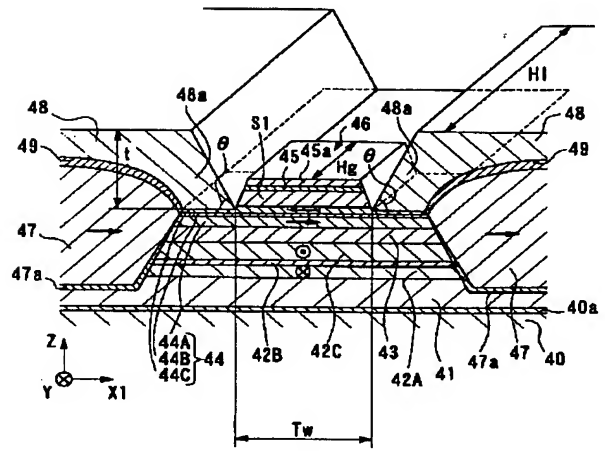
(32)

特開2002-76472

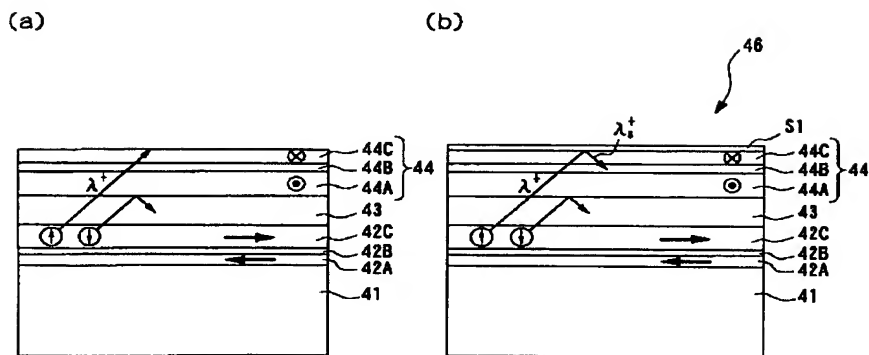
【図9】



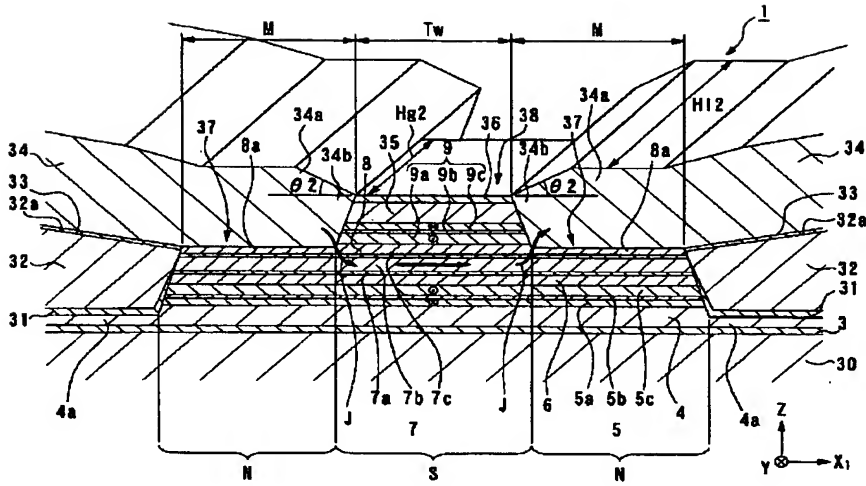
【図10】



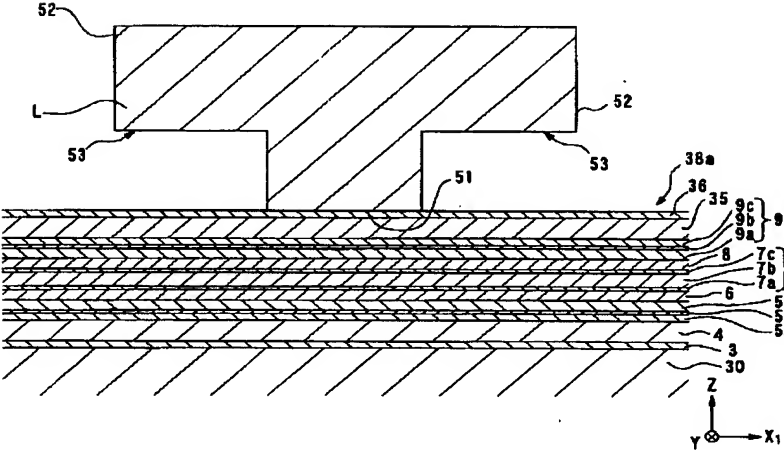
【図11】



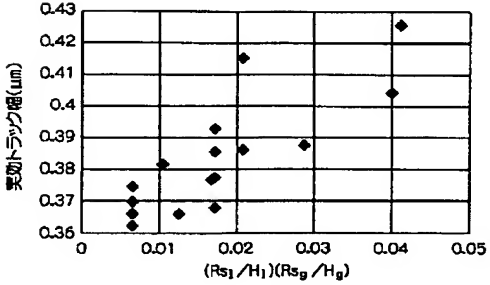
【図12】



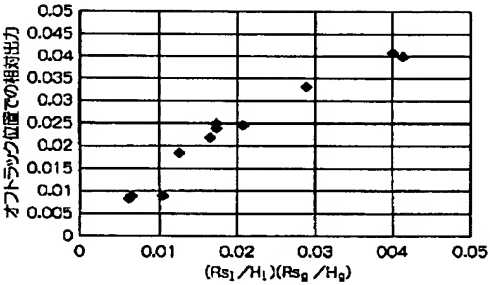
【図14】



【図25】



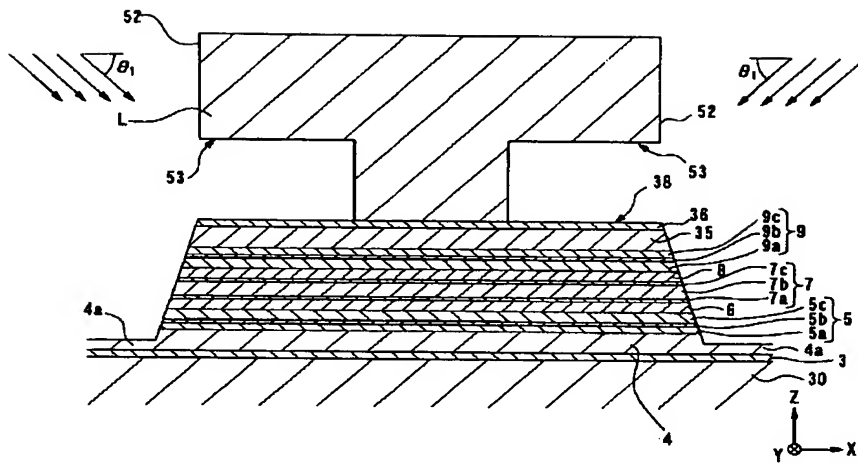
【図26】



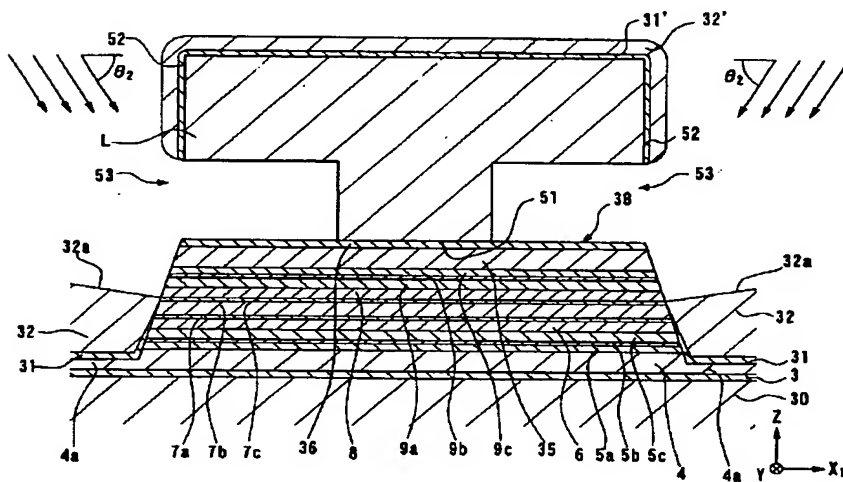
(34)

特開2002-76472

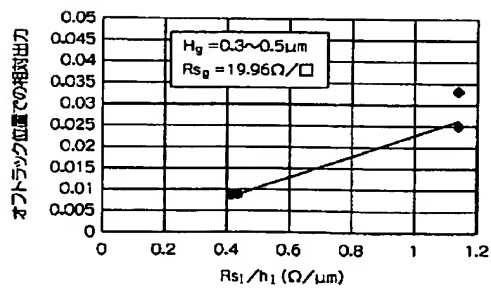
【図15】



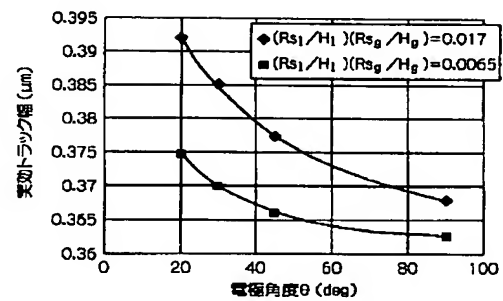
【図16】



【図27】



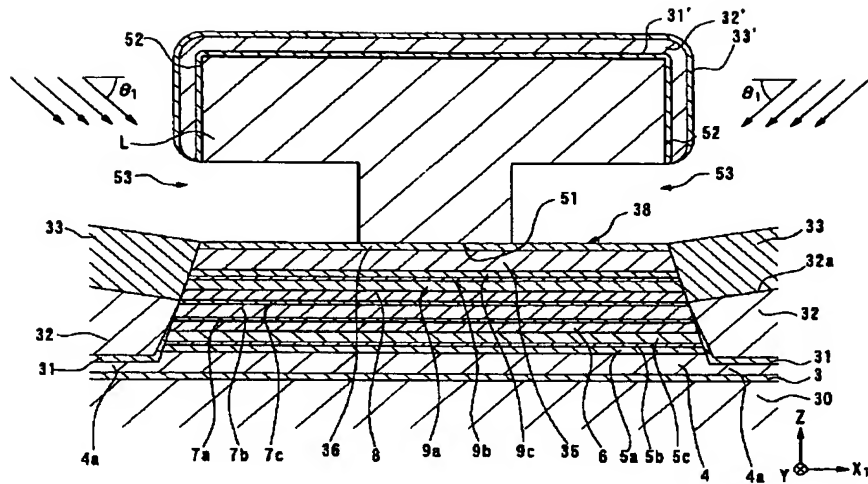
【図28】



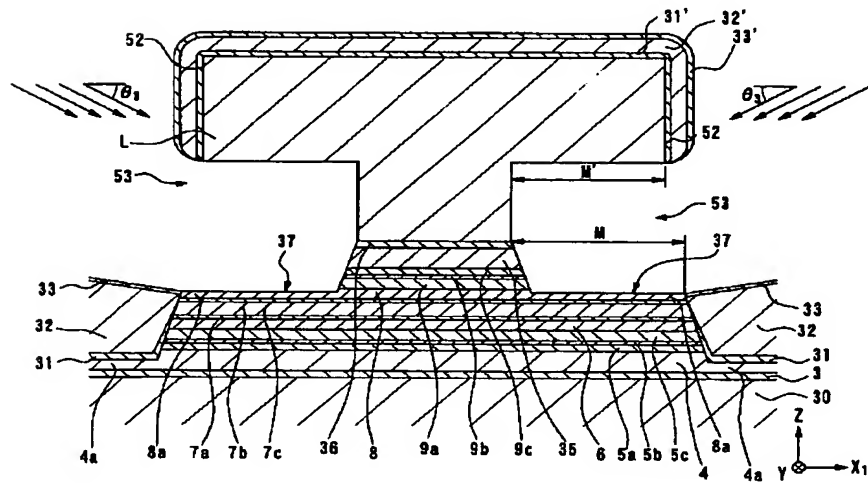
(35)

特開2002-76472

【図17】



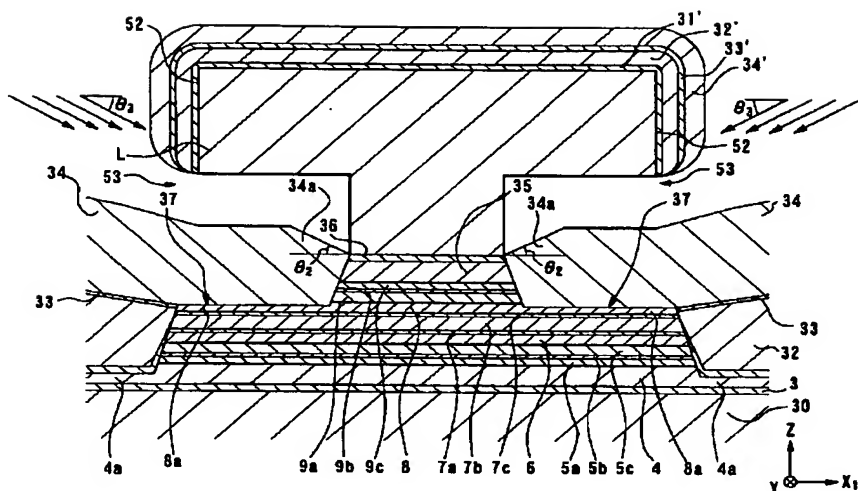
【図18】



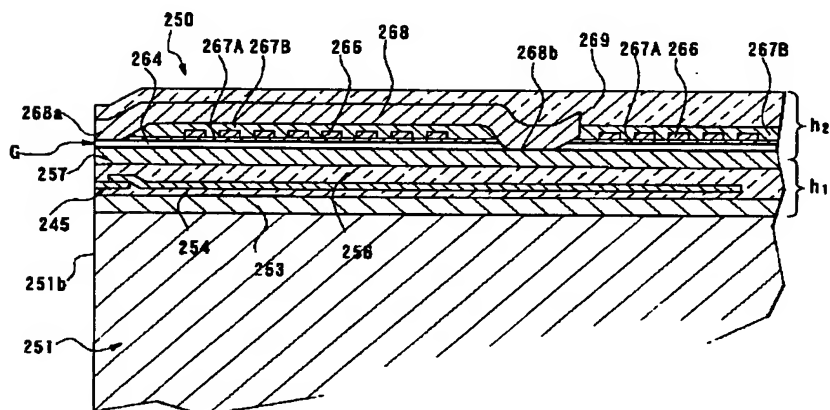
(36)

特開2002-76472

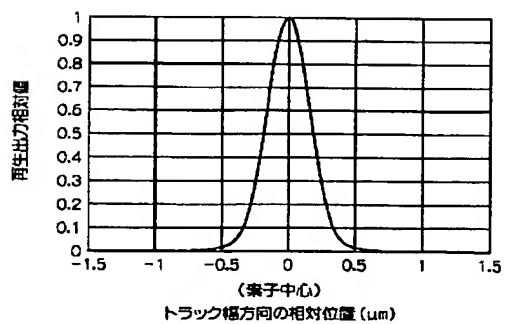
【図19】



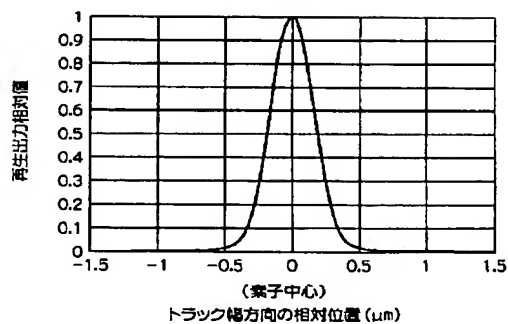
【図21】



【図29】



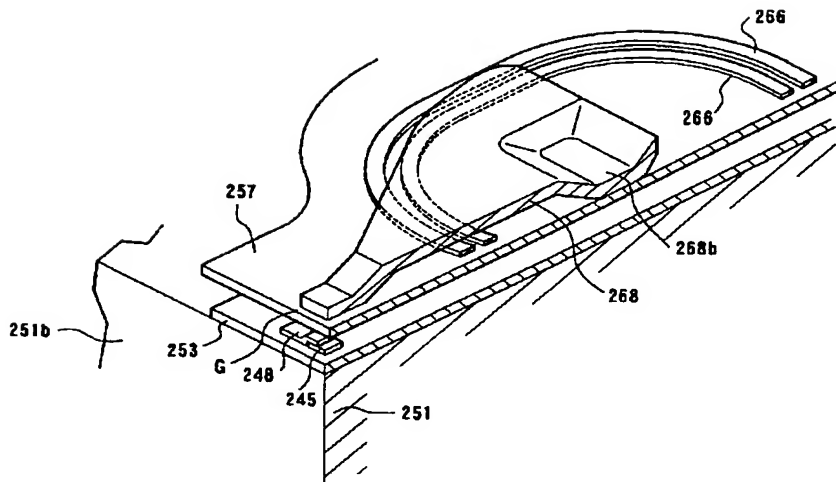
【図30】



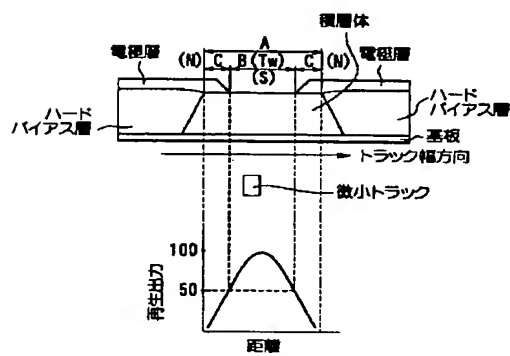
(37)

特開2002-76472

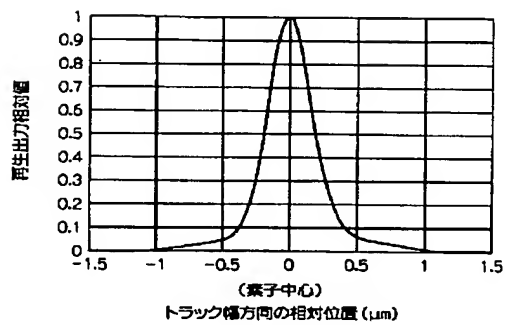
【図22】



【図23】



【図31】



【図24】

